



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
**Facultad de Tecnología de la Construcción**

**Tesina**

**DISEÑO DE 1.5 KM DE PAVIMENTO ARTICULADO, POR EL MÉTODO AASHTO 93,  
DEL TRAMO DE CARRETERA LAS SABANAS – EL CIPÍÁN, EN EL MUNICIPIO DE  
LAS SABANAS, DEPARTAMENTO DE MADRIZ.**

Para optar al título de Ingeniero Civil

**Elaborado por**

Br. Kenia del Socorro Ávila López.  
Br. Marjorie Junieth Vargas Moncada.  
Br. Xilonem Nayby Jiménez Obando.

**Tutor**

Msc. Ing. Orlando Anastasio López Peña.

Managua, Octubre 2015

Universidad Nacional De Ingenieria  
Facultad de Tecnologia de la Construcccion  
Departamento de Vias de Transporte

Managua 29 de octubre del 2015

Dr. Ing. Oscar Gutierrez Somarrivas  
Decano F.T.C.

Ante todo reciba saludos cordiales y mis deseos de exitos en sus gestiones de trabajo. Y a la ves le comunico que despues de analizar y revisar el trabajo de tesina **“Diseño de 1.5 Km de pavimento articulado, por el método AASHTO 93, del tramo de carretera Las Sabanas – El Cipián, en el municipio de Las Sabanas, departamento de Madriz”** de las Bachilleras : Kenia del Socorro Ávila López, Marjorie Junieth Vargas Moncada y Xilonem Nayby Jiménez Obando. Cumple con los requisitos correspondientes para ser sometida a la defensa ante el tribunal examinador.

Atentamente:

---

Msc. Ing. Orlando A. Lopez Peña  
Tutor

CCinteresadas  
Archivo



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION  
DECANATURA

DEC-FTC-REF-No.01195  
Managua, noviembre 18 de 2014.

Bachilleres  
KENIA DEL SOCORRO AVILA LOPEZ  
MARJORIE JUNIETH VARGAS MONCADA  
XILONEM NAYBY JIMENEZ OBANDO  
Presente

Estimados Bachilleres:

Es de mi agrado informarles que el PROTOCOLO de su Tema de Tesina titulado “**DISEÑO DE 1.5 KM DE PAVIMENTO ARTICULADO, POR EL METODO AASHTO 93, DEL TRAMO DE CARRETERA LAS SABANAS – EL CIPIAN, EN EL MUNICIPIO DE LAS SABANAS, DEPARTAMENTO DE MADRIZ**”. Ha sido aprobado por esta Decanatura.

Asimismo les comunico estar totalmente de acuerdo de que el Ing. ORLANDO LOPEZ PEÑA, sea el tutor de su trabajo final.

La fecha límite, para que presenten concluido su documento, debidamente revisado por el tutor guía será el 28 de febrero de 2015.

Esperando puntualidad en la entrega de la Tesina, me despido.

Atentamente,



Dr. Ing. Oscar Gutiérrez Somarriba  
Decano

CC: Protocolo  
Tutor  
Archivo\*Consecutivo



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION  
DEPARTAMENTO DE COORDINACION DE FORMAS DE  
CULMINACION DE ESTUDIOS**

---

## HOJA DE CONCLUSIÓN DE TESINA

<b>NOMBRE DE LOS SUSTENTANTES:</b> 1) KENIA DEL SOCORRO AVILA LOPEZ 2) MARJORIE JUNIETH VARGAS MONCADA 3) XILONEM NAYBY JIMENEZ OBANDO
<b>NOMBRE DEL CURSO:</b> OBRAS HORIZONTALES
<b>NOMBRE DE LA TESINA:</b> DISEÑO DE 1.5 KM DE PAVIMENTO ARTICULADO, POR EL METODO AASHTO 93, DEL TRAMO DE CARRETERA LAS SABANAS – EL CIPIAN, EN EL MUNICIPIO DE LAS SABANAS, DEPARTAMENTO DE MADRIZ
<b>ESPECIFIQUE LAS AREAS QUE ABORDARON EN LA TESINA:</b> 1) ESTUDIO DE SUELO 2) ESTUDIO DE TRANSITO 3) ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL 4) DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ARTICULADO
<b>FECHA DE DEFENSA:</b>
<b>VALORACIÓN DEL TUTOR SOBRE LA TESINA:</b>   
<b>JURADO CALIFICADOR DE LA TESINA:</b> 1) ING. ISRAEL MORALES 2) ING. ALDO ZAMORA 3) ING. MARVIN BLANCO
<b>FIRMA COORDINADOR:</b> _____

FIRMA DEL TUTOR -----

MSC. ING ORLANDO LOPEZ PEÑA

CC: Archivo

## DEDICATORIA

En primer lugar dedico mi trabajo a **Dios**, con toda la humildad que de mi corazón puede emanar ya que él fue el creador de todas las cosas, el que me ha dado fortaleza para continuar en los momentos más difíciles de mi vida.

**A mis Padres.** Rosidalia López Hernández; a quien le debo toda mi vida, pero de manera muy especial a mi padre José Román Ávila González, que aunque el ya no está entre nosotros estoy cumpliendo la promesa que un día le hice de terminar mi carrera y ser una persona de bien, ya que ellos dos me han inculcado buenos valores y hoy por hoy eso me ha ayudado a crecer como persona y como profesional.

**A mis muy amados Hijos.** Martín y Mateo Acevedo Ávila, ya que ellos son la fortaleza de vida.

**A mis maestros.** Por su tiempo, por su apoyo así como por la sabiduría que me transmitieron en el desarrollo de mi formación profesional.

**Br. Kenia del Socorro Ávila López.**

## DEDICATORIA

Esta tesis la dedico primeramente a **Dios**, quién supo guiarme por el buen camino, por darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

**A mi familia.** Que por ellos soy lo que soy. A mi madre Sandra Aracely Moncada López por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles, y por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar. Me ha dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para alcanzar mis metas.

**A mi esposo.** Rommel Josué Silva Casco por estar siempre presente, acompañándome para poderme realizar. Motivación, inspiración y felicidad.

**A mi Hija.** Joshune Suyapa Silva Vargas; porque su presencia ha sido y será siempre el motivo más grande que me ha impulsado para lograr esta meta y forjar un mañana mejor.

*"La dicha de la vida consiste en tener siempre algo que hacer, alguien a quien amar y alguna cosa que esperar".*

**Br. Marjorie Junieth Vargas Moncada.**

## DEDICATORIA

Dedico mi trabajo a **Dios**, creador del universo, por regalarme la vida, paz, salud, inteligencia, fuerzas físicas y espirituales para seguir luchando día a día y vencer todos los obstáculos que se me han presentado, para alcanzar mis sueños.

**A mis queridos padres.** Ramón Jiménez Siles y Elizabeth Obando Pérez; por el amor e incondicional apoyo, que cada día se esforzaron para darme una educación y formarme como una profesional y me inspiraron para seguir adelante sin temor a los retos.

**A mi tía.** Mayela Obando de Garay que me dio su apoyo durante este largo camino.

**A mi familia.** Que de una u otra manera me dieron su apoyo.

**A mis maestros.** Que día a día me daban el pan del saber.

**A mis amigos.** Por darme su apoyo moral en momentos difíciles de mi vida para no desfallecer y culminar con éxito mis estudios.

**Br. Xilonem Nayby Jiménez Obando.**

## **AGRADECIMIENTOS**

**A Dios.** Sobre todas las cosas por estar en cada momento de nuestras vidas, por fortalecer nuestros corazones e iluminar nuestras mentes y por haber puesto en nuestros caminos a aquellas personas que han sido nuestro soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

**A nuestras familias.** De manera especial a nuestras familias, pilar esencial en nuestro desarrollo moral y educativo.

**A nuestros padres.** Quienes con sus consejo han sabido guiarnos para culminar nuestra carrera profesional y sabiendo que jamás existirá una forma de agradecer una vida de lucha, sacrificio y esfuerzos constantes, siendo nuestro mayor deseo que sepan que el logro de nosotros, es el logro de ellos, gracias por el apoyo recibido durante la formación profesional porque han sacrificado gran parte de su vida para formarnos y educarnos, siendo la ilusión de su vida convertirnos en personas de bien.

**A nuestro tutor.** Msc. Ing. Orlando Anastasio López Peña por su esfuerzo y dedicación, quien con sus conocimientos, su experiencia, paciencia y su motivación ha logrado que nosotros terminemos nuestro trabajo final.

**A nuestros Maestros.** Por darnos el pan de la enseñanza y transmitirnos sus conocimientos a través de su trabajo que nos han llevado a ser buenas profesionales.

**A todos los que nos brindaron sus importantes aportes en este proyecto.** Agradecemos también a todas aquellas personas que a lo largo de todos estos años, nos acogieron como parte de su familia, nos brindaron su ayuda incondicional y nos apoyaron en los momentos más difíciles.



## RESUMEN EJECUTIVO

El presente estudio denominado **“Diseño de 1.5 Km de pavimento articulado, por el método AASHTO 93, del tramo de carretera Las Sabanas – El Cipián, en el municipio de Las Sabanas, departamento de Madriz”**; presenta la información básica y los criterios necesarios para el diseño de la estructura de pavimento con adoquín aplicando el método AASHTO-93.

En este trabajo se abordaron cinco capítulos; donde cada uno está constituido por un tema específico.

**Capítulo I ASPECTOS GENERALES:** Este capítulo aborda las generalidades del tema; tales como: introducción, antecedentes, justificación y objetivos.

**Capítulo II ESTUDIO DE SUELOS:** Aquí se presenta la información sobre el estudio de suelo; donde se analizaron las características físico-mecánicas de los suelos para la determinación de su utilidad en la vía como base, que soportará las cargas a las que será sometida, e inducida por la cantidad de ejes equivalentes de diseño, el análisis granulométrico y su respectiva clasificación.

**Capítulo III ESTUDIO DE TRÁNSITO:** En este se realizó un aforo vehicular en el cual se presenta el estudio y análisis del tránsito, necesario para determinar el número ESALs. Describe la recopilación de datos, clasificación de vehículos, clasificación del tipo de vehículo de acuerdo con la disposición de sus ejes, procesamiento de la información, tasas de crecimiento, período de diseño, proyección del tránsito, tránsito Inicial en el año cero, factor de crecimiento, factor de distribución direccional, factor carril, tránsito en el año n y número de año en el período de diseño.

**Capítulo IV ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL:** En el presente estudio se identificaron los impactos ambientales positivos y negativos que traerá el adoquinado del tramo. Este proyecto tiene impactos ambientales positivos especialmente en el ámbito social, donde se esperan futuros beneficios de

mayor facilidad de acceso a los servicios públicos; mejora en los servicios de transporte reduciendo los costos de viaje y aumento en la seguridad del viaje. Se identificaron impactos ambientales negativos, sin embargo con la implementación de las medidas de mitigación, propuestas en el plan de manejo, estos impactos serán prevenidos, mitigables y compensables.

**Capítulo V DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO:** Este comprende el diseño de pavimento semi flexible; de forma manual, en el cual se realizó el cálculo de los espesores de cada capa que conforman el pavimento. A la vez se detalla el procedimiento para seleccionar los parámetros de diseño tales como: Ejes equivalentes de diseño, confiabilidad, serviciabilidad, desviación estándar y el CBR de diseño; el cual sirvió como base para determinar el módulo de resiliente y el valor de los coeficientes estructurales.

Posteriormente se determinaron los espesores requeridos en la estructura de pavimento; para lo cual se implementó la comprobación con el programa Pavement Analysis Software Pavement Desing.

Conclusiones y Recomendaciones. Producto del presente trabajo con el objetivo que sea de utilidad para la construcción del tramo en estudio.

Anexos. Se complementa toda la información utilizada en el desarrollo del proyecto.

## INDICE GENERAL

### CAPÍTULO I ASPECTOS GENERALES

1.1 Introducción .....	1
1.2 Antecedentes.....	2
1.3 Justificación .....	3
1.4 Objetivos .....	4
1.4.1 Objetivo General.....	4
1.4.2 Objetivos Específicos .....	4
1.5 Ubicación y localización del proyecto .....	5
1.5.1 Macro localización .....	5
1.5.2 Micro localización .....	5
1.6 Naturaleza y Clima .....	6

### CAPÍTULO II ESTUDIO DE SUELOS

2.1 Estudio de suelo .....	8
2.1.1 Suelo .....	8
2.1.2 Meteorización .....	8
2.1.3 Propiedades físico-mecánicas.....	8
2.1.4 Trabajo de campo.....	9
2.1.4.1 Sondeos de línea.....	10
2.1.5 Actividades de laboratorio .....	10
2.1.5.1 Ensayo CBR .....	13
2.1.6 Investigación de fuentes de materiales .....	15
2.1.6.1 Resultados de ensayos a muestras de fuentes de materiales.....	15
2.1 Especificaciones técnicas de las diferentes capas que constituyen la estructura de pavimento .....	17
2.1.1 Superficie de rodamiento.....	17
2.1.2 Base .....	17
2.1.3 Sub – base .....	18
2.1.4 Sub – rasante .....	19

## **CAPÍTULO III ESTUDIO DE TRÁNSITO**

3.1 Estudio de tránsito.....	21
3.1.1 Volumen de tránsito.....	21
3.1.2 Aforos vehiculares .....	21
3.1.3 Capacidad de la vía.....	21
3.1.4 Análisis de cargas equivalentes .....	22
3.1.5 El tránsito.....	22
3.1.6 Recopilación de datos .....	22
3.1.6.1 Clasificación vehicular .....	22
3.1.6.1.1 Vehículos de pasajeros .....	22
3.1.6.1.2 Vehículos de carga.....	23
3.1.6.1.3 Equipo pesado.....	23
3.2 Estudios de campo .....	23
3.2.1 Volumen de tránsito.....	23
3.2.2 Expansión a 24.0 Horas .....	24
3.3 Tránsito promedio diurno.....	27
3.4 Tránsito promedio diario anual (TPDA) .....	27
3.5 Proyección del tránsito .....	29
3.5.1 Tasa de crecimiento vehicular (Tc).....	29
3.5.2 Crecimiento poblacional .....	29
3.5.3 Crecimiento vehicular .....	30
3.5.4 Producto interno bruto (PIB) .....	31
3.6 Tránsito de diseño .....	32
3.6.1 Período de diseño (N).....	32
3.6.2 Factor direccional (FD) .....	33
3.6.3 Factor de crecimiento (FC) .....	33
3.6.4 Factor de distribución por carril .....	34
3.6.5 Determinación del tránsito de diseño .....	35

## **CAPÍTULO IV ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL**

4.1 Legislación vigente .....	38
4.2 Descripción del Proyecto.....	39

4.3 Metodología del análisis ambiental.....	39
4.4 Evaluación de emplazamiento.....	40
4.5 Análisis de la calidad ambiental del área de influencia del proyecto .....	42
4.6 Posibles impactos esperados con el proyecto.....	43
4.6.1 Durante la etapa de construcción .....	44
4.6.2 Durante la etapa de funcionamiento .....	44

## **CAPÍTULO V DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO**

5.1 Introducción .....	51
5.2 Índice de serviciabilidad .....	51
5.2.1 Serviciabilidad inicial: .....	52
5.2.2 Serviciabilidad final: .....	52
5.2.3 Pérdida de serviciabilidad ( $\Delta PSI$ ) .....	52
5.3 Análisis de cargas y ejes equivalentes para el diseño de pavimento .....	52
5.4 Confiabilidad (R).....	55
5.5 Desviación estándar ( $S_0$ ).....	56
5.6 Coeficiente de drenaje.....	57
5.7 Propiedades de los materiales .....	57
5.7.1 Determinación del CBR de diseño.....	57
5.8 Propiedades de los materiales .....	59
5.8.1 Módulo Resiliente (MR) .....	59
5.8.2 Coeficientes estructurales de capa.....	60
5.8.3 Coeficiente estructural de la carpeta (Adoquín) a1 .....	61
5.8.4 Coeficiente estructural para base granular a2 .....	61
5.9 Calculo de espesores .....	61
5.9.1 Cálculo del número estructural (SN) y espesores de capas (D) .....	62
5.10 Criterios de estabilidad y posibilidad de construcción .....	62
5.11 Cálculo de espesores de capas mediante el programa computarizado: Pavement Analysis Software™, Pavement Desingend Analysis, versión 3.3. .	65
Conclusiones .....	66
Recomendaciones.....	68
Bibliografía .....	69

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°. 2.1. Sondeos efectuados .....	10
Tabla N°. 2.2. Ensayos de laboratorios .....	11
Tabla N°. 2.3. Sondeos efectuados y resultados de ensayos .....	11
Tabla N°. 2.4. Estratigrafía del suelo .....	13
Tabla N°. 2.5. Valores de CBR de los suelos encontrados en los sondeos realizados .....	13
Tabla N°. 2.6. Bancos de materiales investigados .....	15
Tabla N°.2.7. Resultados de ensayos de laboratorio de las fuentes de materiales .....	16
Tabla N° 2.8. CBR de los bancos de materiales.....	16
Tabla N°. 2.9. Especificaciones de materiales para base granular.....	18
Tabla N°. 2.10. Especificaciones de materiales para sub-base.....	18
Tabla N° 2.11. Especificaciones para los materiales de terraplenes y capa de Sub-rasante .....	19
Tabla N°. 3.1. Aforo vehicular en ambos sentidos, del 08 al 14 de septiembre del año 2014.....	24
Tabla N°. 3.2. Factores de ajustes de la estación 7703 del tramo: San Lucas – Las Sabanas.....	25
Tabla N°. 3.3. Conteo Vehicular expandido a 24.0, Hrs por Tipo de Vehículo en ambos sentidos de lunes 08 al domingo 14 de septiembre del año 2014 .....	26
Tabla N° 3.4. TPDS para cada tipo de vehículo del 08 al 14 de septiembre del año 2014 .....	27
Tabla N° 3.5. Cálculo del tránsito promedio diario anual (TPDA) <sub>2014</sub> .....	28
Tabla N° 3.6. Tasa de Crecimiento Poblacional (2005- 2020).....	30
Tabla N° 3.7. Datos históricos del TPDA .....	31
Tabla N° 3.8. Producto interno bruto (PIB) .....	32
Tabla N° 3.9. Período de diseño (N).....	33
Tabla N° 3.10. Factor de distribución por dirección (FD) .....	33
Tabla N° 3.11. Factor de distribución por carril.....	34
Tabla N° 3.12. Tránsito proyectado, para el tramo, Las Sabanas – El Ciprián al año 2034 .....	35

Tabla N° 3.13. Tránsito de diseño para el tramo: Las Sabanas – El Cipián ..	36
Tabla N° 4.1. Resultados del análisis de emplazamiento en el componente Geología .....	41
Tabla N° 4.2. Resultados de la evaluación de emplazamiento en el componente Ecosistema .....	41
Tabla N° 4.3. Resultados de la evaluación de emplazamiento en el componente institucional social .....	42
Tabla N° 4.4. Análisis de los principales problemas ambientales .....	43
Tabla N° 4.5. Principales impactos ambientales que genera el proyecto .....	45
Tabla N° 4.6. Principales impactos ambientales que genera el proyecto .....	46
Tabla N° 4.7. Medidas de mitigación .....	47
Tabla N° 4.8. Medidas de mitigación .....	48
Tabla N° 5.1. Cálculo de ejes equivalentes de 18 kips (8.2 Ton) con un período de diseño de 20 años, SN = 5 y Pt = 2 .....	55
Tabla N° 5.2. Niveles de confiabilidad recomendado por la AASHTO, para clasificaciones funcionales diferentes .....	56
Tabla N° 5.3. Desviación estándar para pavimentos rígidos y flexibles .....	56
Tabla N° 5.4. Coeficientes de drenaje para pavimentos flexibles .....	57
Tabla N° 5.5. Valores de CBR para diseño .....	58
Tabla N° 5.6. Criterio del Instituto de Asfalto para determinar el CBR de diseño .....	58
Tabla N° 5.7. Cálculo para determinar el CBR de diseño .....	59
Tabla N° 5.8. Nota: Según la AASHTO-93 los espesores mínimos sugeridos para capas de concreto asfáltico y base en función del tránsito .....	63
Tabla N° 5.9. Datos usados para calcular espesores en el programa Pavement Analysis Software versión 3.3 .....	64

## ÍNDICE DE ANEXOS

### ANEXOS CAPÍTULO I

Anexo 1. Fotografía tramo de carretera Las Sabanas – El Cipián .....	II
Anexo 2. Fotografía 2. Estado del tramo de carretera Las Sabanas – El Cipián .....	III

## **ANEXOS CAPÍTULO II**

Anexo 1. Clasificación de suelos, según AASHTO.....	V
Anexo 2. Clasificación unificada de suelos, según SUCS .....	VI
Anexo 3. Correlación entre el tipo de material, CBR y K .....	VII

## **ANEXOS CAPÍTULO III**

Anexo 1. Tipología y Descripción Vehicular de conteos de Tráfico del Sistema de Administración de Pavimentos .....	IX
Anexo 2. Diagrama de cargas permisibles aplicadas en los puntos de control.....	X
Anexo 3. Diagrama de cargas permisibles .....	X

## **ANEXO CAPÍTULO IV**

Anexo 1. Imagen desde el ascenso hacia Las Sabanas .....	XII
--	-----

## **ANEXOS CAPÍTULO V**

Anexo 1. Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes simples, $p_t = 2$ , $SN = 5$ .....	XIV
Anexo 2. Factores Equivalentes de Carga para Pavimentos Flexibles, Ejes Tándem, $p_t = 2$ , $SN = 5$ .....	XV
Anexo 3. Número Estructural SN para Sub-rasante y Base. Ábaco de diseño AASHTO para pavimentos flexibles .....	XVI
Anexo 4. Nomograma Relación entre el Coeficiente Estructural para Base Granular y distintos Parámetros Resistentes .....	XVII



## LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS

**AASHTO:** Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportación.

**ASTM:** Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (Ing. American Society For Testing and Materials).

**CREC:** Crecimiento.

**ESAL:** Ejes de Cargas Estándar Equivalentes.

**FC=** Factor de Crecimiento

**FD=** Factor de Distribución Direccional

**Fc=** Factor Carril

**GC:** Grava arcillosa. Clasificación SUCS de los suelos.

**IMS:** Ingeniería de Materiales y Suelos. Laboratorio de suelos.

**INEC:** Instituto Nicaragüense de Estadísticas y Censos.

**INIDE:** Instituto Nacional de Información de Desarrollo.

**MTI:** Ministerio de Transporte e Infraestructura.

**MR=** Módulo resiliente.

**NP:** No Plástico.

**N°:** Número.

**OL:** Limos y arcillas orgánicas. Clasificación SUCS de los suelos.

**PIB:** Producto Interno Bruto.

**PSI=** Libras por pulgada cuadrada.

**SC:** Arena arcillosa. Clasificación SUCS de los suelos.

**SN=** Coeficiente estructural.

**SIECA:** Secretaría de Integración Económica Centroamericana. (Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos).

**SUCS:** Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

**TAC:** Tasa Anual de Crecimiento.

**TPD:** Tránsito Promedio Diurno.

**TPDA:** Tránsito Promedio Diario Anual.

**VPD:** Volumen Promedio Diario.

**MARENA:** Ministerio del ambiente y los recursos naturales

## GLOSARIO

**Adoquín.** Piedra labrada, concreto u otro material en forma de un prisma para uso en pavimentos.

**Adoquinado.** Tipo de pavimento cuya superficie de rodadura está formada por adoquines.

**Aglomerante.** Material capaz de unir partículas de material inerte por efectos físicos o transformaciones químicas o ambas.

**Agregado.** Material granular de composición mineralógica como arena, grava, escoria, o roca triturada, usado para ser mezclado en diferentes tamaños.

**Arcillas.** Partículas finas con tamaño de grano menor a 2  $\mu\text{m}$  (0,002 mm) provenientes de la alteración física y química de rocas y minerales.

**Arena.** Partículas de roca que pasan la malla N° 4 (4,75 mm.) y son retenidas por la malla N° 200.

**Asentamiento.** Desplazamiento vertical o hundimiento de cualquier elemento de la vía.

**Banco de materiales.** Material que se encuentra en depósitos naturales y usualmente mezclado en mayor o menor cantidad con material fino (arenas, arcillas) que da lugar a bancos de gravas arcillosas, gravas arenosas.

**Base.** Capa de material selecto y procesado que se coloca entre la parte superior de una sub-base o de la sub-rasante y la capa de rodadura. Esta capa puede ser también de mezcla asfáltica o con tratamientos según diseños. La base es parte de la estructura de un pavimento.

**Berma.** Franja longitudinal, paralela y adyacente a la superficie de rodadura de la carretera, que sirve de confinamiento de la capa de rodadura y se utiliza como zona de seguridad para estacionamiento de vehículos en caso de emergencia.

**Bombeo.** Inclinación transversal que se construye en las zonas en tangente a cada lado del eje de la plataforma de una carretera con la finalidad de facilitar el drenaje lateral de la vía.

**Calicata.** Excavación superficial que se realiza en un terreno, con la finalidad de permitir la observación de los estratos del suelo a diferentes profundidades y eventualmente obtener muestras generalmente disturbadas.

**Carretera.** Camino para el tránsito de vehículos motorizados, de por lo menos dos ejes, con características geométricas definidas de acuerdo a las normas técnicas vigentes en el Ministerio de Transportes e Infraestructura.

**Carretera no pavimentada.** Carretera cuya superficie de rodadura está conformada por gravas o afirmado, suelos estabilizados o terreno natural.

**Carretera pavimentada.** Carretera cuya superficie de rodadura está conformada por mezcla bituminosa (flexible), de concreto Portland (rígida) o de adoquín (semiflexible).

**Carril.** Parte de la calzada destinada a la circulación de una fila de vehículos en un mismo sentido de tránsito.

**CBR (California Bearing Ratio).** Valor relativo de soporte de un suelo o material, que se mide por la penetración de una fuerza dentro de una masa de suelo.

**Cemento portland.** Es un producto obtenido por la pulverización del Clinker portland con la adición eventual de yeso natural.

**Cimentación.** Parte de una estructura que transmite cargas al terreno de fundación.

**Cohesión.** La resistencia al corte de un suelo, a una tensión normal.

**Compactación.** Proceso manual o mecánico que tiende a reducir el volumen total de vacíos de suelos, mezclas bituminosas, morteros y concretos frescos de cemento Portland.

**Concreto.** Mezcla de material aglomerante y agregados fino y grueso. En algunos casos se agrega aditivos para proporcionarle cualidades que no poseen y en otros para mejorar los que poseen.

**Corte (directo).** Ensayo según el cual un suelo sometido a una carga normal falla al moverse una sección con respecto a otra.

**Cota:** Altura de un punto sobre un plano horizontal de referencia.

**Derecho de vía.** Faja de terreno de ancho variable dentro del cual se encuentra comprendida la carretera, sus obras complementarias, servicios, áreas previstas para futuras obras de ensanche o mejoramiento, y zonas de seguridad para el usuario. Su ancho se establece mediante resolución del titular de la autoridad competente respectiva.

**Eje de la carretera.** Línea longitudinal que define el trazado en planta, el mismo que está ubicado en el eje de simetría de la calzada. Para el caso de autopistas y carreteras duales el eje se ubica en el centro del separador central.

**Escorrentía.** Agua de lluvia que discurre por la superficie del terreno.

**Estabilización de suelos.** Mejoramiento de las propiedades físicas de un suelo a través de procedimientos mecánicos e incorporación de productos químicos, naturales o sintéticos.

**Estudio de suelos.** Documento técnico que engloba el conjunto de exploraciones e investigaciones de campo, ensayos de laboratorio y análisis de gabinete que tiene por objeto estudiar el comportamiento de los suelos y sus respuestas ante las solicitaciones de carga.

**Fatiga.** Reducción gradual de la resistencia de un material debido a solicitaciones repetidas.

**Fisura.** Fractura fina, de varios orígenes, con un ancho igual o menor a 3 milímetros.

**Flujo de tránsito.** Movimiento de vehículos que se desplazan por una sección dada de una vía, en un tiempo determinado.

**Fraguado.** Proceso de una mezcla de concreto o mortero para alcanzar progresivamente la resistencia de diseño.

**Granulometría.** Representa la distribución de los tamaños que posee el agregado mediante el tamizado según especificaciones técnicas.

**Grava.** Agregado grueso, obtenido mediante proceso natural o artificial de los materiales pétreos.

**Impermeabilidad.** Capacidad de un pavimento asfáltico de resistir el paso de aire y agua dentro o a través del mismo.

**Inestabilidad.** Pérdida de resistencia a las fuerzas que tienden a ocasionar movimiento o distorsión de una estructura del pavimento.

**Intersección.** Caso en que dos o más vías se interceptan a nivel o desnivel.

**Junta.** Separación establecida entre dos partes contiguas de una obra, para permitir su expansión o retracción por causa de las temperaturas ambientales.

**Límite líquido.** Contenido de agua del suelo entre el estado plástico y el líquido de un suelo.

**Límite plástico.** Contenido de agua de un suelo entre el estado plástico y el semisólido.

**Limos.** Partículas de roca o minerales cuyas dimensiones están entre 0,02 y 0,002 mm.

**Malla.** Abertura cuadrada de un tamiz.

**Módulo resiliente (Suelos).** Esfuerzo repetido axial de desviación de magnitud, duración y frecuencias fijas, aplicado a un espécimen de prueba apropiadamente preparado y acondicionado.

**Mortero.** Conglomerado o masa constituida por arena, conglomerante (bituminoso o cemento portland), agua y puede contener aditivos.

**Muestreo.** Investigación de suelos, materiales, asfalto, agua etc., con la finalidad de definir sus características y/o establecer su mejor empleo y utilización.

**Paso de peatones.** Zona transversal al eje de una vía, destinada al cruce de peatones mediante regulación de la prioridad de paso.

**Pavimento.** Estructura construida sobre la sub-rasante de la vía, para resistir y distribuir los esfuerzos originados por los vehículos y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito. Por lo general está conformada por las siguientes capas: sub-base, base y rodadura.

**Pavimento flexible.** Constituido con materiales bituminosos como aglomerantes, agregados y de ser el caso aditivo.

**Pavimento rígido.** Constituido por cemento Portland como aglomerante, agregado y de ser el caso aditivo.

**Peralte.** Inclinación transversal de la carretera en los tramos de curva, destinada a contrarrestar la fuerza centrífuga del vehículo.

**Permeabilidad.** Capacidad de un material para permitir que un fluido lo atraviese sin alterar su estructura interna.

**Porosidad.** Propiedad de un cuerpo que se caracteriza por la presencia de vacíos en su estructura.

**Rasante.** Nivel terminado de la superficie de rodadura. La línea de rasante se ubica en el eje de la vía.

**Red vial.** Conjunto de carreteras que pertenecen a la misma clasificación funcional (Nacional, Departamental o Regional y Vecinal o Rural)

**Sección transversal.** Representación gráfica de una sección de la carretera en forma transversal al eje y a distancias específicas.

**Socavar.** Erosión de la cimentación de una estructura u otro elemento de la vía por la acción del agua.

**Subbase.** Capa que forma parte de la estructura de un pavimento que se encuentra inmediatamente por debajo de la capa de Base.

**Subrasante.** Superficie terminada de la carretera a nivel de movimiento de tierras (corte o relleno), sobre la cual se coloca la estructura del pavimento o afirmado.

**Talud.** Inclinación de diseño dada al terreno lateral de la carretera, tanto en zonas de corte como en terraplenes.

**Tamiz.** Aparato, en un laboratorio, usado para separar tamaños de material, y donde las aberturas son cuadradas.

**Tramo.** Parte continúa de una carretera.

**Tránsito.** Actividad de personas y vehículos que circulan por una vía

**Usuario.** Persona natural o jurídica, pública o privada que utiliza la vía pública.

**Vehículo.** Cualquier componente del tránsito cuyas ruedas no están confinadas dentro de rieles.

**Vehículo liviano.** Vehículo automotor de peso bruto mayor a 1,5 t hasta 3,5 t.

**Vehículo pesado.** Vehículo automotor de peso bruto mayor a 3,5 t

**Velocidad de diseño.** Máxima velocidad con que se diseña una vía en función a un tipo de vehículo y factores relacionados a: topografía, entorno ambiental, usos de suelos adyacentes, características del tráfico y tipo de pavimento previsto.

**Velocidad de operación.** Máxima velocidad autorizada para la circulación vehicular en un tramo o sector de la carretera.

**Vía.** Camino, arteria o calle.

**Vía urbana.** Arterias o calles conformantes de un centro poblado.

**Vida útil.** Lapso de tiempo previsto en la etapa de diseño de una obra vial, en el cual debe operar o prestar servicios en condiciones adecuadas bajo un programa de mantenimiento establecido.

# **CAPÍTULO I**

## **ASPECTOS GENERALES**

## **1.1 Introducción**

La ciudad de Somoto, cabecera municipal del departamento de Madriz, se encuentra ubicada a 217Km de Managua con la cual se comunica mediante la carretera Panamericana. El tramo de carretera Las Sabanas - El Cipián está ubicado en la carretera que comunica los municipio de San Lucas – Las Sabanas; localizada entre las coordenadas: Inicio 13° 24'30"N /86° 37'10"W, Fin 13° 20'25"N/86° 36'42" W.

Los pavimentos articulados están compuestos por una capa de rodadura que está elaborada por bloques de concreto prefabricados, llamados adoquines, de espesor uniforme e iguales entre sí, esta debe ir sobre una capa delgada de arena la cual a la vez se apoya sobre una capa de base granular o directamente sobre la subrasante, dependiendo de la calidad de esta, de la magnitud y frecuencia de las cargas que circulan por dicho pavimento.

Los adoquines de concreto son elementos individuales que colocados en un patrón definido constituyen un pavimento articulado de grandes ventajas constructivas y por la calidad que se exige a los adoquines de concreto en los proyectos de calles o carreteras, se garantiza su durabilidad y resistencia a la abrasión del tránsito y la intemperie.

El proyecto consiste en el mejoramiento del tramo de carretera La Sabana – El Cipián, en la búsqueda de solución a los problemas viales; diseñando un proyecto de pavimento articulado de 1.5 km; financiado por la alcaldía de Las Sabanas y el MTI.

El diseño de este proyecto vendrá a mejorar el estado de la carretera que comunica los municipios de San Lucas – Las Sabanas y la calidad de vida de la población del departamento de Madriz y principalmente de los municipios de San Lucas y Las Sabanas, procurando así asegurar al mismo tiempo una efectiva y eficiente contribución a la economía de los municipios antes mencionados en el proceso del desarrollo nacional.



## **1.2 Antecedentes**

La carretera San Lucas – Las Sabanas es un camino de todo tiempo, estructuralmente está conformado por una superficie de rodadura formada por una capa de material de base no tratada (material de revestimiento). La mala condición en que se encuentra este camino incide en un aumento en el tiempo de viaje de los usuarios y del costo de transporte.

La erosión y las lluvias en el invierno dificultan el acceso, el camino es muy angosto. No hay señalización vial. El deterioro del camino dificulta a los productores sacar sus cosechas para que puedan comercializarlas en los mercados locales o para llevarlos a los centros de acopio.

La superficie actual de rodamiento se encuentra sobre suelos inestables, existen sitios donde el agua ha deteriorado la superficie de rodadura, los daños más visibles son los baches, huellas en formas de surcos y erosiones de talud.

El tramo de camino se ubica en el departamento de Madriz, de acuerdo a la clasificación funcional del MTI, este tramo de camino se clasifica como colectora secundaria. Es un camino revestido, en malas condiciones.

En cuanto a la condición vial actual de este sector, presenta un déficit en lo que respecta a calles adoquinadas, presentando un 100% de las mismas revestidas de material macadán o suelo natural, actualmente esta carretera presenta condiciones de circulación vehicular desfavorables.

### **1.3 Justificación**

El mejoramiento del tramo de carretera San Lucas – Las Sabanas permitirá que la población asentada en todo el tramo tenga mejores perspectivas de desarrollo, mejorando el nivel de vida de la población, abriendo nuevos centros de empleo y mayores posibilidades de intercambiar y comercializar sus productos con las principales ciudades del país.

Actualmente se está gestionando el financiamiento para llevar a cabo la construcción de esta vía, a través del adoquinado, lo que permitirá una utilización óptima del camino rural, de una forma sostenida, ajustándose de esta manera a las posibilidades económicas y constructivas del país.

Con la ejecución de este proyecto se pretende además, crear una oportunidad de trabajo a la población local, debido a que por la naturaleza del trabajo se requiere de mucha participación de mano de obra no especializada. Además de contribuir notablemente en el fortalecimiento de la actividad económica y social de la región y en consecuencia en el desarrollo del país.

La región donde está ubicado este proyecto se caracteriza por presentar altos índices de pobreza, por lo que indudablemente estas obras tendrán un gran impacto económico y social en esta área, que por sus características socioeconómicas es eminentemente agrícola.

La Justificación de este proyecto está vinculada estrechamente con los objetivos, políticas y estrategias que el gobierno está impulsando como es el de mejorar la infraestructura de apoyo al sector productivo, con el que se podrá beneficiar al sector agrícola y ganadero, por donde se traslada la producción de granos básicos, leche y carne etc. Con dicho proyecto de mantenimiento se prevé, reducir los costos de operación vehicular y mejorar las condiciones de vida de la población.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo General**

Diseñar 1.5 km de pavimento articulado, por el método AASHTO 93, del tramo de carretera Las Sabanas – El Cipián, en el municipio de Las Sabanas, departamento de Madriz.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Analizar las características físico mecánicas del suelo del sitio y del banco de materiales, para así garantizar el material adecuado a utilizar en las vías de acceso en la carretera San Lucas – Las Sabanas.
- Realizar los estudios de tránsito por medio de aforos para determinar el Tránsito Promedio Diurno (TPD) y la capacidad de carga que debe tener el pavimento para su diseño.
- Identificar posibles impactos ambientales positivos y negativos que puedan ocasionarse con la implementación del proyecto en las etapas de construcción y mantenimiento del mismo.
- Diseñar la estructura de pavimento articulado empleando el método de la AASHTO 93.

El tramo de carretera Las Sabanas – El Cipián se encuentra ubicado en la carretera San Lucas - Las Sabanas, en el municipio de Las Sabanas, Departamento de Madriz.

The map shows the state of Veracruz with its various municipalities. The project area is located in the northwestern part of the state, near the border with Mexico City. An inset map shows the state divided into municipalities, with the project area highlighted in red.

A topographic map of a region in Costa Rica, centered around San José. The map features contour lines indicating elevation, with labels such as 1200, 1262, and 1300. Key locations marked include San José, San Antonio, La Unión, El Paisaje, and Llano Alaupe. A red line highlights a proposed road project, which is circled in red. A scale bar at the bottom right indicates a distance of 0.57 cm. A north arrow is located in the top left corner.

## **1.6 Naturaleza y Clima**

El municipio de Las Sabanas cuenta con una vegetación variada, por las características semi húmedas, que prevalecen en el territorio; lográndose encontrar pinos, café, roble, guácimo, eucalipto, carbón y cedro.

La fauna está integrada mayoritariamente por Venados, Conejos, palomas (Alas Blancas, Azulonas, Corraleras, Rodadora), Zopilotes, Zanates, Pijules, Tordos, Codornices, Guatuzas, Gato de monte, Mapachines, Zahinos, Ardillas, Garrobos y Armadillos.

El clima se caracteriza por ser muy variado, en las partes bajas, es de tipo tropical seco, tornándose húmedo en las partes elevadas y montañosas. La temperatura oscila entre los 26 y 27° c. La precipitación varía entre los 1,200 y 1,400 mm.

## **CAPÍTULO II**

# **ESTUDIO DE SUELOS**

## **2.1 Estudio de suelo**

El estudio de suelos nos aporta algunos de los parámetros de diseño necesarios para la estructuración adecuada de una vía de comunicación terrestre. Este nos proporciona las características de los materiales existentes en la vía y los bancos de materiales a utilizarse, por lo que se convierte en una de las referencias más importantes en la determinación de los espesores de pavimento.

### **2.1.1 Suelo**

Es la parte superficial de la corteza terrestre, biológicamente activa, que tiende a desarrollarse en la superficie de las rocas emergidas por la influencia de la intemperie y de los seres vivos (Meteorización).

### **2.1.2 Meteorización**

Consiste en la alteración que experimentan las rocas en contacto con el agua, el aire y los seres vivos.

### **2.1.3 Propiedades físico-mecánicas**

Son características que se utilizan para la selección de los materiales, las especificaciones de construcción y el control de calidad.

Estas propiedades de los suelos que constituyen la sub-rasante, son las variables más importantes que se deben considerar al momento de diseñar una estructura de pavimento.

Para conocer las propiedades de los suelos, es necesario tomar muestras; posteriormente en el laboratorio se determinarán sus propiedades: Granulometría, Límite de Atterberg (líquido e índice plástico), Valor Soporte (CBR), Densidad (próctor), Humedad.

Un suelo conforme a su granulometría se clasifica así<sup>1</sup>:

- Grava: de un tamaño menor a 76.2 mm (3") hasta tamiz No. 10 (2mm)

---

<sup>1</sup> Manual Centroamericano para el diseño de pavimentos. (SIECA). Capítulo 4. Página 3

- Arena gruesa: de un tamaño menor a 2 mm hasta tamiz No. 40 (0.425 mm)
- Arena fina: de un tamaño menor a 0.425 mm hasta tamiz N0. 200 (0.075 mm)
- Limos y arcillas: tamaños menores de 0.075 mm.

Las propiedades de plasticidad se analizán conforme las pruebas de límites de Atterberg, las cuales son:

- Límite líquido o LL: Es el estado de un suelo, cuando pasa de un estado plástico a un estado semilíquido
- Límite plástico o LP: Es la frontera entre el estado plástico y el semisólido de un suelo
- Índice plástico o IP: es la diferencia entre LL y LP, que nos indica la plasticidad del material.

En este capítulo se plasman los resultados de las investigaciones llevadas a cabo en el estudio de suelo en el proyecto de **“Adoquinado de 1.5 km en el tramo de carretera Las Sabanas – El Ciprián”**, el cual se encuentra localizado en la carretera San Lucas – Las Sabanas. Dicho estudio se realizó con el propósito de obtener las características principales del sub-suelo para realizar el diseño de estructuras de pavimento requeridas a partir de la estación 0 + 000 a la estación 1+ 500, de la carretera San Lucas – Las Sabanas.

#### **2.1.4 Trabajo de campo**

Los sondeos tomados por el laboratorio (INGENICA) Alfonso Jerez F. Consultor en Ingeniería Geotécnica; contratado por el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI) se ubicaron de forma alterna en el centro, derecha e izquierda de la línea central y dentro de la plataforma del camino o carretera. El espaciamiento aproximado entre sondeos fue de 212 m y la profundidad máxima de exploración fue de 1 metro, habiéndose realizado ocho (8) sondeos con la recuperación de diecinueve (19) muestras representativas de las diferentes capas de materiales encontradas.



**Tabla N°. 2.1. Sondeos efectuados**

Localización	Sondeo N°	Estación
Las Sabanas – El Ciprián	S - 1	0 + 008
	S - 2	0 + 220
	S - 3	0 + 430
	S - 4	0 + 644
	S - 5	0 + 856
	S - 6	1 + 068
	S - 7	1 + 282
	S - 8	1 + 494

Fuente: Laboratorio INGENICA. Alfonso Jerez F. Consultor en Ingeniería Geotécnica.

#### **2.1.4.1 Sondeos de línea**

De acuerdo a los ensayos de laboratorio, se puede determinar en general, que se encontraron desde una hasta tres capas de materiales en el rango de profundidad explorada desde la superficie hasta 1.50 m máximo.

#### **2.1.5 Actividades de laboratorio**

Las muestras obtenidas en el campo, en los sondeos de línea, fueron trasladadas al laboratorio INGENICA, Alfonso Jerez F. Consultor en Ingeniería Geotécnica, para practicar en ellas los ensayos requeridos para conocer y determinar sus propiedades físico – mecánicas, clasificar las mismas y conocer su capacidad de soporte.

De esta manera, a cada muestra obtenida en los sondeos se les practicaron los siguientes ensayos:

**Tabla Nº. 2.2. Ensayos de laboratorios**

Tipo de Ensayo	Designación A.A.S.H.T.O
Análisis granulométrico de los suelos	T 311-00 (2004), T11-05
Clasificación Unificada	D 2487-85
Clasificación AASHTO	M 145-91 (2004)
Límite Líquido de los suelos %	T 89 – 02
Límite Plástico de los suelos %	T 90 – 00 (2004)
Índice de plasticidad de los suelos %	T 90 – 00 (2004)
Pesos Unitarios (*)	T 19 – 00 (2004)
Ensayo Proctor Estándar (*)	T 180 – 01 (2004)
Densidad Máxima Kg/m <sup>3</sup>	T 99 ó T 180
Humedad Óptima (%)	T 265-93 (2004)
Ensayo C.B.R. (%)	T 193 – 99 (2003)

Fuente: Laboratorio INGENICA. Alfonso Jerez F. Consultor en Ingeniería Geotécnica.

**Tabla Nº. 2.3. Sondeos efectuados y resultados de ensayos**

Sondeo Nº	Estación Ubicación	Profundidad en metros	Muestra Nº	% QUE PASA POR TAMIZ										L L	LP	I P	Clasificación	
				2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 200				SUCS	AASHTO
1	0 +008	0.00 - 0.16	1	89.49	85.1	78.29	74.13		60.6	47.05	40.13	23.17	11.25	N. P	N. P	N. P	GW	A-1-a (0)
		0.16 - 1.50	2						83.4	61.21	42.06	22.64	11.65	43.4	40.29	3.1	GM	A-1-a (0)
2	0 +220	0.00 - 0.10	1	90.42	81.79	69.33	64.31		55.1	47.05	36.29	21.89	13.82	36.2	26.34	9.86	GM	A-2-4 (0)
		0.10 - 0.28	2	97	94.61	90.05	85.22		75.2	64.53	53.75	38.88	25.55	40.7	23.64	17.1	SM	A-2-7 (1)
		0.028 - 1.50	3	92.88	88.18	84.29	80.96		76.1	69.98	62.59	49.12	34.28	52.9	35.91	17	SM	A-2-7 (1)
3	0 + 430	0.00 - 0.50	1	88	81.04	69.32	63.26		50.3	41.95	34.36	23.37	14.63	56.7	37.99	18.7	SM	A-2-7 (0)
		0.50 - 1.50	2	97.73	92.65	83.66	80.06		69.3	62.5	58.69	53.17	42.13	56.7	37.99	18.7	MH	A-7-5 (4)
4	0 + 644	0.00 - 0.35	1	94.59	87.8	78.23	71.49		60.6	51.42	42.83	29.79	19.91	36.5	28.1	8.37	GM	A-2-4 (0)
		0.35 - 1.50	2	84.61	78.68	68.11	61.83		50.9	44.57	39.43	33.22	22.26	52.2	33.86	18.3	GC	A-2-7 (1)
5	0 + 856	0.00 - 0.35	1	93.29	89.05	76.54	69.53		52.8	41.76	32.13	21.72	14.7	35	27.92	7.07	GM	A-2-4 (0)
		0.35 - 0.70	2						81.3	50.3	89.66	77.76	50.1	30.1	27.81	2.28	ML	A-4 (3)
		0.70 - 1.50	3						95.2	92.33	89.45	83.22	72.13	42	29.6	12.4	ML	A-7-6 (9)
6	1 + 068	0.00 - 0.20	1	73.77	63.76	51.03	45.78		36	28.84	22.75	15.13	10.07	35.7	27.81	7.89	GP	A-2-4 (0)
		0.20 - 0.30	2	88.45	84.46	72.72	65.93		56.2	47.81	38.67	22.51	13.2	39.8	32.19	7.6	GP	A-2-4 (0)
		0.30 - 1.50	3	93.3	91.49	85.78	80.22		68.2	57.87	47.12	26.22	11.69	41.4	38	3.4	GM	A-1-a (0)
7	1 + 282	0.00 - 0.31	1	91.36	87.53	81.93	72.51		55.5	43.92	34.47	22.31	12.78	31.1	24.4	6.73	GM	A-2-4 (0)
		0.31 - 1.50	2	97.9	94.35	82.41	73.04		50.2	37.64	29.29	20	12.48	33.9	27.97	5.89	GM	A-1-a (0)
8	1 + 494	0.00 - 0.17	1	81	74.82	66.23	60.13		46.5	36.26	27.65	18.42	11.57	38.7	34.5	4.23	GW	A-1-a (0)
		0.17 - 1.50	2	97.75	92.96	89.35	83.24		62.5	44.9	31.06	16.82	8.31	34.4	29.45	4.93	GM	A-1-a (0)
Observaciones: L.L. : Límite Líquido    I.P. : Índice Plástico    I.G. : Índice de Grupo    N.P. : Suelo No Plástico																		

Fuente: Laboratorio INGENICA. Alfonso Jerez F. Consultor en Ingeniería Geotécnica.

Es claro observar y deducir que los materiales granulares corresponden a la capa superficial de revestimiento existente en toda la longitud del camino, así como a capas intermedias y/o de rellenos que en muchos casos abarcan toda la profundidad de exploración indicada.

Estos materiales granulares clasifican principalmente como A-1-a, A-2-4 y A-2-7, con índice de grupo “cero”, y “uno” para el suelo A-2-7. Estos materiales corresponden a materiales excelentes o buenos utilizados en la construcción de caminos y carreteras según la AASHTO.

En cuanto a los materiales Limo-arcillosos clasifican principalmente A – 4; A-7-5 y a-7-6. Para estos suelos el índice de grupo es “3”; “4” y “9” respectivamente.

Respecto al espesor de la primera capa o superficial de revestimiento que existe a lo largo de todo el camino son materiales granulares; según los resultados de campo varía desde la superficie hasta los 100 cm de profundidad; solamente en las estaciones 0 + 430 y 0 + 856 se presentan materiales limo arcillosos a partir del segundo estrato, en la estación 0 + 430 a partir de 0.50 m de profundidad se presenta un suelo A – 7 – 5 con índice de grupo 3 y en la estación 0 + 856 se presenta un suelo A – 4, con índice de grupo 4 de (0.35 a 0.70) metros de profundidad y a partir de 0.70 metros se presentan materiales A – 7 – 6, con índice de grupo 9, hasta la profundidad examinada.

**Tabla N°. 2.4. Estratigrafía del suelo**

Estación/Sondeo	0 + 008	0 + 220	0 + 430	0 + 644	0 + 856	1 + 068	1 + 282	1 + 494
Profundidad (m)	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
0.10	A - 1 - a (0)	A - 2 - 4		A - 2 - 4	A - 2 - 4	A - 2 - 4	A - 2 - 4	A - 1 - a (0)
0.20			A - 2 - 7	(0)	(0)	(0)	(0)	
0.30			(0)					
0.40					A - 4 (3)			
0.50								
0.60								
0.70								
0.80	A - 1 - a	A - 2 - 7		A - 2 - 7		A - 1 - a	A - 1 - a	A - 1 - a
0.90	(0)	(1)		(1)		(0)	(0)	(0)
1.00			A - 7 - 5		A - 7 - 6			
1.10			(4)		(9)			
1.20								
1.30								
1.40								
1.50								

Fuente: Laboratorio INGENICA. Alfonso Jerez F. Consultor en Ingeniería Geotécnica.

### 2.1.5.1 Ensayo CBR

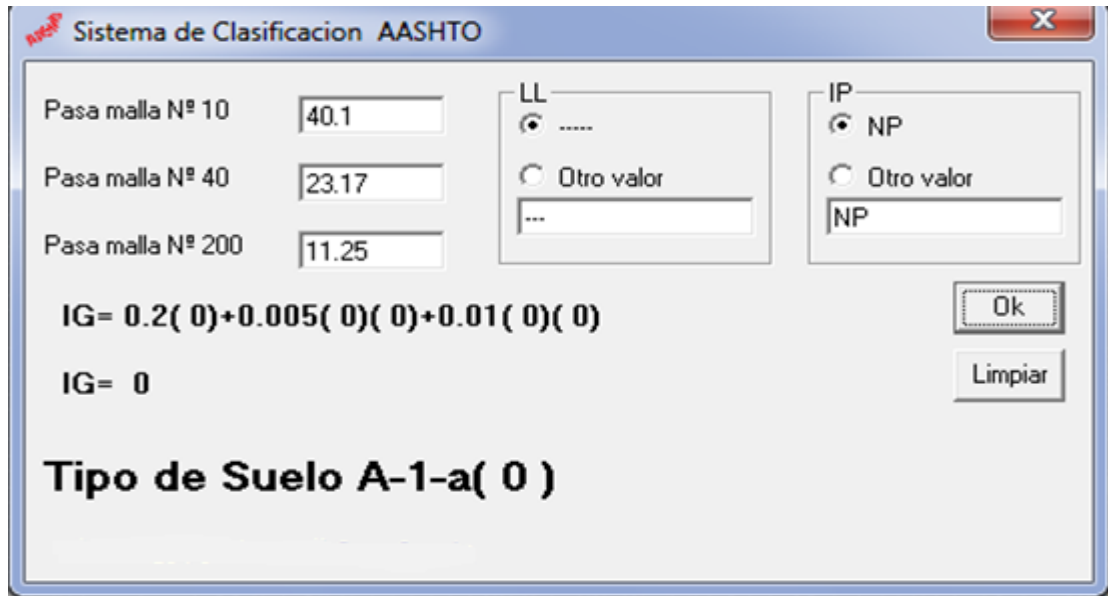
Se procedió a encontrar los valores de los CBR a los diferentes tipos de suelos localizados en la línea que servirán como subrasante. Se eligieron los valores promedios de acuerdo a la tabla de relación aproximada entre los valores del CBR y la clasificación del suelo (ver anexos capítulo I. Anexo 4, Página VIII).

**Tabla N°. 2.5. Valores de CBR de los suelos encontrados en los sondeos realizados**

Estación	Clasificación		Indice de grupo	CBR (95%)	Densidad Máxima (Kg/m³)	Humedad Óptima (%)
	AASHTO	SUCS				
0+008; 1+068; 1+282 y 1+494	A - 1 - a	GW	0	71.0	100.05	21.43
0+008 y 1+494	A - 1 - a	GM	0	48.0	101.69	22.8
0+220; 0+644; 0+856 y 1+282	A - 2 - 4	GM	0	47.0	99.66	14.2
1+068	A - 2 - 4	GP	0	40.0	99.68	15.1
0+220 y 0+430	A - 2 - 7	SM	0	18.0	106.65	13.2
0+644	A - 2 - 7	GC	1	29.0	93.78	22.7
0+856	A - 4	ML	3	9.0	--	--
0+430	A - 7 - 5	MH	4	6.0	91.83	23.9
0+856	A - 7 - 6	ML	9	8.5	94.11	19.1

Fuente: Laboratorio INGENICA. Alfonso Jerez F. Consultor en Ingeniería Geotécnica.

Dicho resultado emitido por el laboratorio de suelo Laboratorio INGENICA. Alfonso Jerez F. Consultor en Ingeniería Geotécnica, se comprobó con el software del sistema de clasificación de la AASHTO, elaborado por Drewel Cruz García.



**Sistema de Clasificación AASHTO**

Pasa malla N° 10: 40.1  
Pasa malla N° 40: 23.17  
Pasa malla N° 200: 11.25

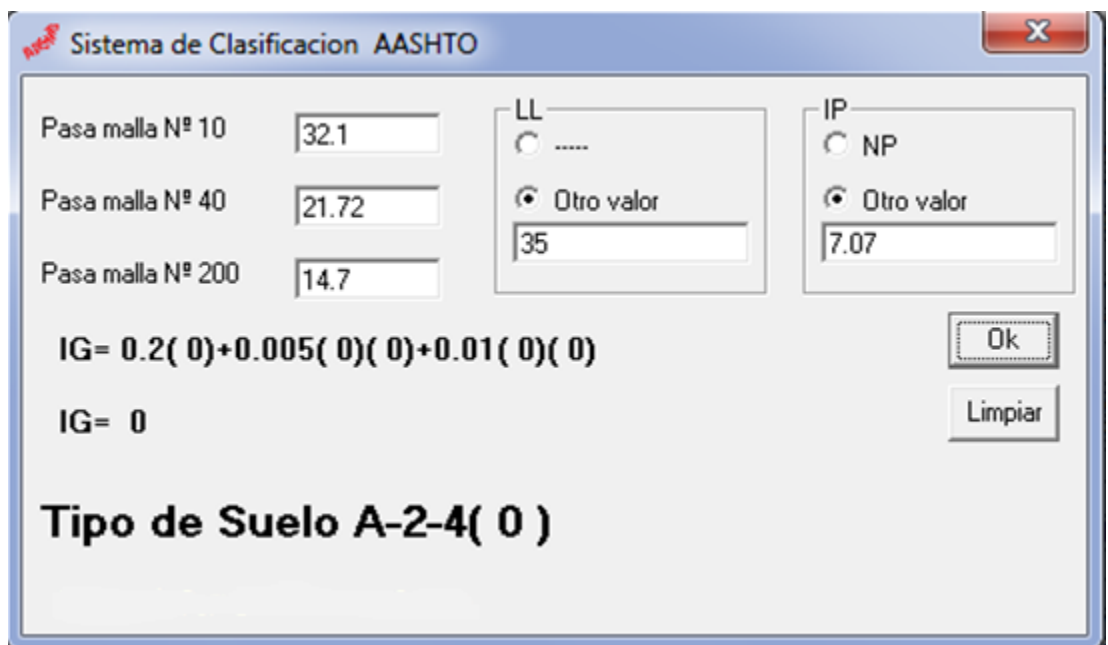
LL: ☒ .....  
☐ Otro valor:

IP: ☒ NP  
☐ Otro valor:

IG=  $0.2(0) + 0.005(0)(0) + 0.01(0)(0)$   
IG= 0

**Tipo de Suelo A-1-a( 0 )**

Ok  
Limpiar



**Sistema de Clasificación AASHTO**

Pasa malla N° 10: 32.1  
Pasa malla N° 40: 21.72  
Pasa malla N° 200: 14.7

LL: ☐ .....  
☒ Otro valor: 35

IP: ☐ NP  
☒ Otro valor: 7.07

IG=  $0.2(0) + 0.005(0)(0) + 0.01(0)(0)$   
IG= 0

**Tipo de Suelo A-2-4( 0 )**

Ok  
Limpiar

### 2.1.6 Investigación de fuentes de materiales

La investigación de fuentes de materiales aptas para el uso de la construcción del espesor de pavimento, es una actividad que se realiza como parte de la búsqueda de obtener costos menores en la construcción de las vías disminuyendo en lo posible, la longitud de acarreo del material de préstamo.

La investigación de las posibles fuentes de materiales se realizó a lo largo de la vía, tomando las muestras necesarias para un análisis correspondiente. Se examinaron 3 bancos de materiales de los cuales uno es de uso conocido en la zona y ya ha estado en explotación, por lo que presenta cortes.

**Tabla N°. 2.6. Bancos de materiales investigados**

Banco de materiales	Ubicación
	Estación
Umanzor	4 + 200
Beltrán	5 + 800
Fiallos	7 + 300

Fuente: Laboratorio INGENICA. Alfonso Jerez F. Consultor en Ingeniería Geotécnica.

En la tabla N°. 2.6, se presenta el resumen de fuentes o bancos de materiales muestreados en este estudio, todos prácticamente a la orilla o muy cerca al eje del camino. Situación que es favorable para la ejecución del proyecto, dado que se reducen los costos de viaje o transporte de dichos materiales.

#### 2.1.6.1 Resultados de ensayos a muestras de fuentes de materiales

Con relación a la investigación en fuentes de materiales, se logró muestrear tres bancos de materiales, cuyos resultados presentamos en la tabla N° 2.7.

Los resultados de laboratorio comprenden la distribución de tamaños o granulometría del material, límites de Atterberg, clasificación AASHTO y clasificación unificada.

**Tabla N°.2.7. Resultados de ensayos de laboratorio de las fuentes de materiales**

Banco de materiales	C.B.R	%Que Pasa por el Tamiz										L.L.	L.P	I.P.	Clasificación	
	95%	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°200	(%)	(%)	(%)	SUCS	AASHTO
Umanzor	20	100	99.12	96.52	94.38	70	88.44	81.89	74.76	58.04	34.57	58.74	44.84	13.9	SM	A-2-7 (1)
Beltrán	80				100		84.9	67.4	49.3	26.7	15.8	41.7	34.3	7.4	SM	A-2-5 (0)
Fiallos	30	87.87	75.88	63.15	56.55	70	48.69	44.35	39.32	28.3	19.25	56.4	42.6	13.8	GM	A-2-7 (0)

Fuente: Laboratorio INGENICA. Alfonso Jerez F. Consultor en Ingeniería Geotécnica.

**Tabla N° 2.8. CBR de los bancos de materiales**

Banco de materiales	Ubicación	Densidad Máxima	Humedad óptima	C.B.R
	Estación	Kg./m³	%	95%
Umanzor	4 + 200	85.28	29.3	20
Beltrán	5 + 800	94.33	21.33	80
Fiallos	7 + 300	93.85	23	30

Fuente: Laboratorio INGENICA. Alfonso Jerez F. Consultor en Ingeniería Geotécnica.

Comprobación con el software del sistema de clasificación AASHTO.

Sistema de Clasificación AASHTO

Pasa malla N° 10: 49.30

Pasa malla N° 40: 26.70

Pasa malla N° 200: 15.80

LL: ☐ ---- ☒ Otro valor: 41.70

IP: ☐ NP ☒ Otro valor: 7.4

IG= 0.2( 0)+0.005( 0)( 1.7)+0.01( .8000000000000001)( 0)

IG= 0

**Tipo de Suelo A-2-5( 0 )**

Ok Limpiar

## **2.1 Especificaciones técnicas de las diferentes capas que constituyen la estructura de pavimento**

### **2.1.1 Superficie de rodamiento**

La superficie de rodamiento consistirá de una estructura semi-flexible compuesta de unidades de adoquín. La arena que servirá de colchón a los adoquines deberá ser lavada, dura y uniforme y no deberá contener más del 3% de limo y/o arcilla en peso; su granulometría será tal que pase totalmente por el tamiz No. 4 y no más del 15% sea retenido por el tamiz No. 10.<sup>2</sup>

Los bloques o adoquines son elementos contruidos con material pétreo y cemento, pudiendo tener varias formas, todas ellas regulares, y que son colocados sobre una cama de arena de 3 a 5 centímetros de espesor, la que tiene como función primordial absorber las irregularidades que pudiera tener la base, proporcionando a los adoquines un acomodamiento adecuado y ofreciendo una sustentación y apoyo uniforme en toda su superficie. Además sirve para drenar el agua que se filtra por las juntas, evitando que se dañe la base.

El adoquín a utilizarse será denominado tipo tráfico cuya resistencia<sup>3</sup> característica a los 28 días no deberá ser menor de 350 kg/cm<sup>2</sup> (5000 PSI).

### **2.1.2 Base**

La base estará constituida por agregados seleccionados, compuestos preferiblemente de grava o de agregados triturados. La base se deberá colocar en una capa y compactarse a un mínimo de 95% Próctor Modificado (ASTM D 1557). El material usado como base deberá satisfacer los siguientes requisitos:

---

<sup>2</sup> Normas NIC-2000. Sección 502. Pavimentos de adoquines de concreto. Página.273

<sup>3</sup> Normas NIC-2000. Sección 502. Pavimentos de adoquines de concreto. Página.273.



**Tabla N°. 2.9. Especificaciones de materiales para base granular**

N°	Propiedad	Especificación	Metodología
1	Límite Líquido	25% máx.	AASHTO-89
2	Índice Plástico	6% máx.	AASHTO-90
3	CBR	80% min.	AASHTO-193
4	Desgaste de los Ángeles	50% máx.	AASHTO-96
5	Intemperismo Acelerado	12% máx.	AASHTO-104
6	Compactación	95% min del peso volumétrico seco máx. Obtenido por medio de la prueba proctor modificado (AASHTO-180)	AASHTO-191 Y/O T-238 (In Situ)

Fuente: Especificaciones NIC-2000 Sección 1003. 09 (a y b), 1003. 23. II (b).

### 2.1.3 Sub – base

Esta deberá ser colocada sobre la terracería en una capa compactada hasta alcanzar el 95% mínimo de su peso volumétrico seco máximo (ASTM D 1557). El material a utilizarse como capa de sub-base deberá cumplir con los requisitos siguientes:

**Tabla N°. 2.10. Especificaciones de materiales para sub-base**

N°	Propiedad	Especificación	Metodología
1	Límite Líquido	25% máx.	AASHTO-89
2	Índice Plástico	6% máx.	AASHTO-90
3	CBR	40% min	AASHTO-193
4	Desgaste de los Ángeles	50% máx.	AASHTO-96
5	Intemperismo Acelerado	12% máx.	AASHTO-104
6	Compactación	95% min del peso volumétrico seco máx. Obtenido por medio de la prueba Proctor modificado	AASHTO-191 Y/O T-238 (In Situ)

Fuente: Especificaciones NIC-2000 Sección 1003. 09 (a y b), 1003. 23. II (a).

#### 2.1.4 Sub – rasante

Es la capa de una carretera que soporta la estructura de pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no sea afectada por las cargas de diseño que corresponde al tránsito previsto.

**Tabla Nº 2.11. Especificaciones para los materiales de terraplenes y capa de Sub-rasante**

Nº	Propiedad	Terraplenes	Capa Sub-rasante	Metodología
1	% de malla No. 200	40 % máx.	30% máx.	AASHTO T-11
2	Límite Líquido	40 % máx.	30% máx.	AASHTO-89
3	Índice Plástico	15% máx.	10% máx.	AASHTO T-90
4	CBR	10% min	20% min.	AASHTO T-193
5	Compactación	95 % min. Del peso volumétrico seco máx. Obtenido por medio de la prueba Proctor modificado (AASHTO-99)	95% min. Del peso volumétrico seco máx. Obtenido por medio de la prueba Proctor modificado (AASHTO-T-180)	AASHTO-T-191 Y/O T- 238 (In Situ)

Fuente: Especificaciones NIC-2000 Sección 203. 11 (b), 1003. 21, 1003. 24 (g).

## **CAPÍTULO III**

# **ESTUDIO DE TRÁNSITO**

Los estudios de tránsito juegan un papel muy importante en la elaboración de estructuras de pavimento, ya que al realizar los análisis de tránsito nos permite conocer la cantidad y tipo de vehículos que circulan en el tramo, donde se pretende ejecutar la obra ya sea diseñar o rehabilitar, los cuales darán como resultado, el peso y la cantidad de ejes equivalentes para diseñar la estructura de pavimento.

Los factores referentes al tránsito, se obtienen a través del Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA), el porcentaje que representa cada tipo de eje, el factor de crecimiento del tráfico, el factor de sentido, el factor de carril y el período de diseño.

Permite determinar la cantidad de vehículos que se trasladan de un lugar a otro. Se utiliza para evaluar la situación actual de una vía en la cual se hace un diagnóstico de la demanda vehicular.

### **3.1 Estudio de tránsito**

Permite determinar la cantidad de vehículos que se trasladan de un lugar a otro. Se utiliza para evaluar la situación actual de una vía en la cual se hace un diagnóstico de la demanda vehicular.

#### **3.1.1 Volumen de tránsito**

Es la cantidad de vehículos que se hacen uso de una vía o carretera, y se obtiene a través de conteos o aforos de tránsito en un punto específico del tramo en estudio.

#### **3.1.2 Aforos vehiculares**

Es la cuantificación de los volúmenes actuales de tránsito, con las condiciones presentes y pronosticar los volúmenes que serán atraídos y generados como resultado de su rehabilitación y mejora.

#### **3.1.3 Capacidad de la vía**

Es el máximo volumen horario de tránsito que puede circular por un punto o una sección.

### **3.1.4 Análisis de cargas equivalentes**

Para el cálculo de los ejes equivalentes se consideran los tipos de vehículos obtenidos en los conteos o aforos vehiculares y los pesos sugeridos por la AASHTO para cada uno de ellos. Esto se hace cuando en el tramo de estudio no se cuenta con una báscula que permita el pesaje de los vehículos (en todo caso es el MTI).

### **3.1.5 El tránsito**

Es una variable importante para el diseño de una vía ya que el número y el peso de los ejes de los vehículos son factores que influyen en la estructura de pavimento y de esta manera poder calcular los espesores de pavimento.

Para su correcta elaboración se realizaron tres etapas.

- ✓ Recopilación de datos.
- ✓ Procesamiento de información.
- ✓ Análisis de la información obtenida.

### **3.1.6 Recopilación de datos**

En esta etapa se recopilaron los datos por medio de aforos vehiculares, en un periodo de una semana por doce horas. Se eligió una estación 0 + 700 ubicada en el tramo de carretera Las Sabanas – El Ciprián. El objetivo de este es determinar el tránsito promedio diario, tipo de vehículos, número, tipo y peso de los ejes.

#### **3.1.6.1 Clasificación vehicular**

Para la clasificación de los vehículos el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI) ha designado cuatro categorías (ver Anexos capítulo III. Anexo 1, página X).

##### **3.1.6.1.1 Vehículos de pasajeros**

Son motocicletas, automóviles, jeep, camionetas, microbús (capacidad menor o igual a 14 pasajeros), minibús (capacidad de 15 a 30 pasajeros), bus (capacidad mayor de 30 pasajeros).

#### **3.1.6.1.2 Vehículos de carga**

Estos son vehículos livianos de carga (peso máximo de 4 toneladas), camiones de carga C2 – C3 (peso mayor de 5 toneladas), camiones de carga pesada (tipo Tx-Sx $\leq$ 4 ejes), camiones Tx-Sx $\geq$ 5 ejes (considerados combinaciones de tracto, camión y semirremolque), camión Cx-Rx $\leq$ 4 ejes (combinación camión remolque), Cx-Rx $\geq$ 5 ejes (combinación camión remolque).

#### **3.1.6.1.3 Equipo pesado**

Estos son los vehículos agrícolas y vehículos de construcción.

**++**

#### **Otros**

Remolques y tráileres (pequeños que sean halados por cualquier clase de vehículo automotor).

### **3.2 Estudios de campo**

#### **3.2.1 Volumen de tránsito**

El estudio de los volúmenes de tránsito, su composición y comportamiento, forman parte de los parámetros fundamentales para el método de diseño de pavimento semi-flexible. Dicho estudio consiste en la determinación de las cantidades y características del tránsito (cantidades y tipo de vehículos).

El volumen de tránsito que circula por la vía, se determinó a través de aforos. El aforo se realizó durante una semana, a partir del día lunes 08 al domingo 14 de septiembre del año 2014; en un período de tiempo de 12 horas correspondiente de 6:00 am a 6:00 pm.

A continuación se presenta el resultado del conteo vehicular (Ver tabla 3.1).

**Tabla N°. 3.1. Aforo vehicular en ambos sentidos, del 08 al 14 de septiembre, 2014**

Aforo Vehicular de 12 horas														
Día	Vehículos de Pasajeros						Vehículos de Carga							
	Motos	Autos	Jeep	Camionetas	Micro Bus	Bus	Liviano de carga	C2	C3	Tx - Sx <= 4	Tx - Sx <= 5	Cx - Rx <= 4	Cx - Rx <= 5	TOTAL
Lunes	48	40	15	40	2	11	35	28	25	0	0	0	0	244
Martes	55	36	18	32	2	9	32	36	22	0	0	0	0	242
Miercoles	52	38	14	42	3	8	30	15	29	0	0	0	0	231
Jueves	45	39	16	39	2	8	34	25	25	0	0	0	0	233
Viernes	53	45	19	36	2	10	38	38	28	0	0	0	0	269
Sábado	58	43	25	52	5	8	37	32	26	0	0	0	0	286
Domingo	62	32	23	35	2	10	26	23	18	0	0	0	0	231
TOTAL	373	273	130	276	18	64	232	197	173	0	0	0	0	1736

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.2 Expansión a 24.0 Horas

Los volúmenes de tráfico diario de doce horas se expandieron a tráfico de veinticuatro horas, haciendo uso del Factor de expansión día por tipo de vehículo de la estación Sumaria N° 7703 tramo San Lucas – Las Sabanas, NN – 4, correspondiente al conteo del año 2011.

Tránsito expandido 24 horas, = Factor día \* Tránsito 12 hrs **Ec – 3.1**

**Tabla N°. 3.2. Factores de ajustes de la estación 7703 del tramo: San Lucas – Las Sabanas**

Camino:	NN-4	Estación:	7703	Tramo:	San Lucas - Las Sabanas.			Período	L	Días:	3	Horas:	Mes/Año	Abril	2011	Km:	229.540				
Grupos	Motos	Vehículos de Pasajeros						Vehículos de Carga						Equipo Pesado			Total				
		Autos	Jeep	Cam.	McBus <15 s.	MnBus 15-30 s	Bus 30+ s.	Liv. 2-5 t.	C2 5+ t.	C3	Tx-Sx <=4 e.	Tx-Sx >=5 e.	Cx-Rx <=4 e.	Cx-Rx >=5 e.	V.A.	V.C.		Otros			
	2	3	4	5	6	7	8	10	11	12	13	14	15	16	18	19		21			
TP(D)	68		10	58			7	8	12	4							167				
Factor Día	1.24	1.48	1.28	1.33	1.40	1.13	1.20	1.22	1.28	1.11	1.00	1.37	1.00	1.00	1.00	1.00	1.16				
Factor Semana	0.95	1.03	1.07	1.00	0.95	0.96	0.98	0.91	0.86	0.87	1.00	0.91	1.00	1.00	1.00	1.00	1.29				
Factor Expansión	1.13	0.98	0.94	0.98	0.90	0.80	1.00	1.00	1.02	1.09	1.00	1.11	1.00	1.00	1.00	1.00	1.60				
TPDA Ene-Abr	91		13	76			8	9	14	4							215				
% TPDA	42.33		6.05	35.35			3.72	4.19	6.51	1.86							100.00				
% Vehiculos Livianos							83.72%			% Vehiculos Pesados							16.28%				100.00%

Fuente: Anuario de aforos de tráfico. MTI. Año 2011. Página 273.



**Tabla N°. 3.3. Censo Vehicular expandido a 24.0 Hrs. por Tipo de Vehículo en ambos sentidos de lunes 08 al domingo 14 de septiembre del año 2014.**

Tipo de Vehículo	Factor Día	Día Lunes			Día Martes			Día Miércoles			Día Jueves			Día Viernes			Día Sábado			Día Domingo		Tránsito total 24 horas
		12 Horas	24 Horas		12 Horas	24 Horas		12 Horas	24 Horas		12 Horas	24 Horas		12 Horas	24 Horas		12 Horas	24 Horas		12 Horas	24 Horas	
Motos	1.24	48	60		55	68		52	64		45	56		53	66		58	72		62	77	463
Autos	1.48	40	59		36	53		38	56		39	58		45	67		43	64		32	47	404
Jeep	1.28	15	19		18	23		14	18		16	20		19	24		25	32		23	29	165
Camionetas	1.33	40	53		32	43		42	56		39	52		36	48		52	69		35	47	368
Micro Bus	1.40	2	3		2	3		3	4		2	3		2	3		5	7		2	3	26
Bus	1.20	11	13		9	11		8	10		8	10		10	12		8	10		10	12	78
Liviano de carga	1.22	35	43		32	39		30	37		34	41		38	46		37	45		26	32	283
C2	1.28	28	36		36	46		15	19		25	32		38	49		32	41		23	29	252
C3	1.11	25	28		22	24		29	32		25	28		28	31		26	29		18	20	192
<b>Total</b>		<b>244</b>	<b>314</b>		<b>242</b>	<b>310</b>		<b>231</b>	<b>296</b>		<b>233</b>	<b>300</b>		<b>269</b>	<b>346</b>		<b>286</b>	<b>369</b>		<b>231</b>	<b>296</b>	<b>2231</b>

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3 Tránsito promedio diario semanal

Es el tránsito total registrado por semana, dividido por los siete días de la semana.

Del conteo elaborado en la Estación 0 + 700 (Ver Tabla 3.1), se determina el tránsito promedio diario por medio de la siguiente ecuación:

$$TPDS = \frac{TS}{7} \quad (EC - 3.2)$$

TPDS = Tránsito promedio semanal.

TS = Tránsito semanal.

Los valores de TPDS se presentan en la Tabla 3.4.

**Tabla N° 3.4. TPDS para cada tipo de vehículo del 08 al 14 de septiembre del año 2014**

Tipo de vehículo	Tránsito semanal	TPDS
Motos	463	66
Autos	404	58
Jeep	165	24
Camionetas	368	53
Micro Bus	26	4
Bus	78	11
Liviano de carga	283	40
C2	252	36
C3	192	27
<b>Total</b>	<b>2231</b>	<b>319</b>

Fuente: Elaboración Propia.

### 3.4 Tránsito promedio diario anual (TPDA)

El tránsito promedio diario anual, representa el promedio de los volúmenes diarios de tránsito durante un año en una sección dada de una vía.

Para obtener el tránsito promedio diario semanal del tramo de carretera Las Sabanas – El Cipián se tomó como referencia los datos registrados por el MTI;

mediante aforos que dicha institución realiza en estaciones permanentes, ubicadas en toda la red vial del país.

El MTI ha desarrollado factores de ajuste, con el objetivo que si se lleva a cabo un conteo vehicular sea posible aplicar dichos factores, desarrollados a partir de la estación permanente y obtener así el TPDA en un tramo de carretera previamente establecido.

La estación permanente que está asociada con el tramo Las Sabanas – El Cipián es la estación de conteo sumaria **7703** tramo San Lucas – Las Sabanas, camino NN – 4.

Tomando los valores del TPDS de la tabla 3.4 y los factores de expansión de la tabla 3.2; determinamos el TPDA para cada tipo de vehículo.

Por lo tanto el TPDA se determina como:

$$\text{TPDA} = \text{TPDS} \times \text{factor expansión} \quad (\text{EC} - 3.3)$$

**Tabla Nº 3.5. Cálculo del tránsito promedio diario anual (TPDA)<sub>2014</sub>**

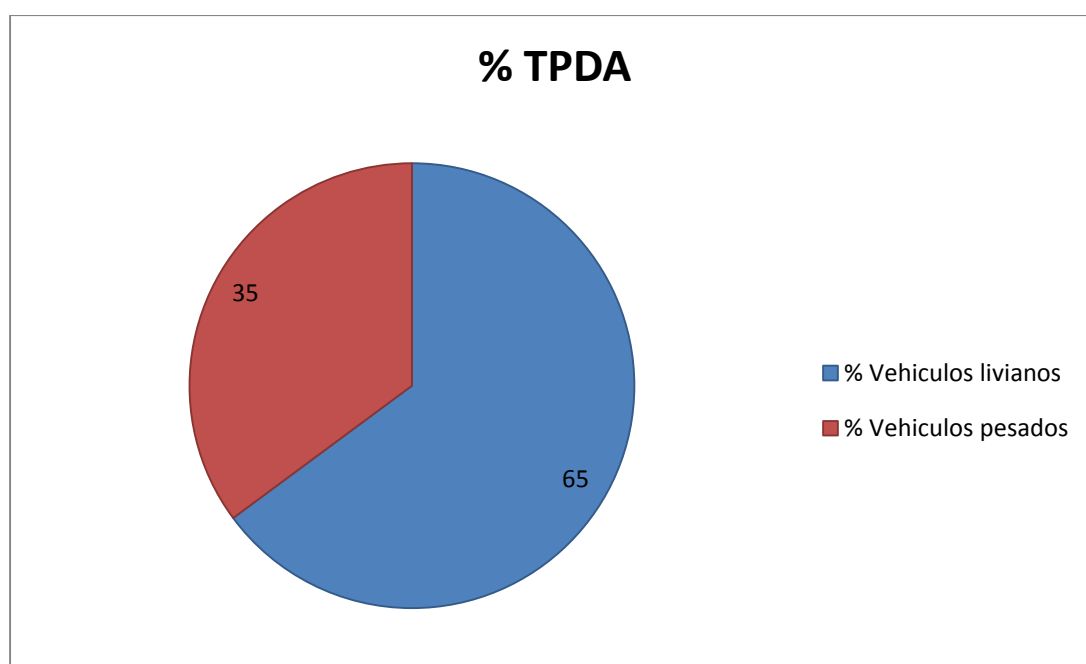
Vehiculos	Motos	Autos	Jeep	Camionetas	Micro Bus	Bus	Liviano de carga	C2	C3	Totales
TPDS	66	58	24	53	4	11	40	36	27	319
Factor expansión	0.86	1.02	1.06	1.07	1.15	1	0.98	1.06	0.81	
TPDA	57	59	25	57	5	11	39	38	22	313
% TPDA <sub>2014</sub>	18.21	18.85	7.99	18.21	1.60	3.51	12.46	12.14	7.03	100
% Vehículos livianos					65	% Vehículos pesados			35	100

Fuente: Elaboración propia.

$$\% \text{ Vehículos livianos} = 18.21 + 18.85 + 7.99 + 18.21 + 1.60 = 64.86 \approx 65$$

$$\% \text{ Vehículos pesados} = 3.51 + 12.46 + 12.14 + 7.03 = 35.14 \approx 35$$

**Gráfico N° 3.1. Tránsito promedio diario anual**



Fuente: Elaboración propia

### **3.5 Proyección del tránsito**

#### **3.5.1 Tasa de crecimiento vehicular (Tc)**

Es el incremento anual de volumen de tránsito en una vía, expresado en porcentajes. Se determina basándose en los datos de las estaciones de conteo, así como también tomando en cuenta otras variables como son:

#### **3.5.2 Crecimiento poblacional**

Es el cambio en la población en un cierto plazo, y puede ser cuantificado como el cambio en el número de individuos en una población usando "tiempo por unidad" para su medición.

Según las estadísticas poblacionales cuantificadas por el Instituto Nicaragüense de Estadísticas y Censos (INEC), actualmente Instituto Nacional de Información de Desarrollo (INIDE) se obtuvieron las tasas de crecimiento por municipio, las cuales fueron ajustadas a las tasas estimadas para los departamentos. Finalmente, para la proyección hasta el año 2020, se tomó la población base del año 2005 ajustándose a los techos departamentales proyectados al 30 de junio de cada año. (Ver tabla N° 3.6 y tabla N°. 3.7).

**Tabla N° 3.6. Tasa de Crecimiento Poblacional (2005- 2020)**

<b>AÑO</b>	<b>Tasa de Crecimiento. (TC)</b>
2005 - 2010	1
2010 - 2015	0.7
2015 - 2020	0.7
<b>Promedio TC</b>	<b>0.80</b>

Fuente: Estimaciones y Proyecciones de la población. Nacional, departamental y municipal. INIDE. Revisión. 2007. Página 108.

Según el último censo realizado por el Instituto Nacional de Información de Desarrollo (INIDE); en el año 2010 la tasa de crecimiento poblacional en el municipio de Las Sabanas fue de 0.7.

### **3.5.3 Crecimiento vehicular**

Para determinar la tasa de crecimiento vehicular aplicamos la siguiente ecuación.

$$TC = \left[ \left( \frac{TPDA_i}{TPDA_o} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right] * 100 \quad (EC - 3.4)$$

Dónde:

TC: Tasa de crecimiento vehicular.

TPDA<sub>i</sub>: Tráfico promedio diario actual.

TPDA<sub>o</sub>: Tráfico promedio diario del año base.

n: Diferencia de años.

Para el comportamiento vehicular tomamos en cuenta el tránsito de la estación sumaria N° 7703 cubierta por el MTI; al que corresponde a nuestro tramo en estudio (NN – 4) Las Sabanas – San Lucas.

**Tabla N° 3.7. Datos históricos del TPDA**

<b>(NN - 4) - San Lucas. Las Sabanas, Estación No. 7703</b>										
<b>AÑO</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>
<b>TPDA</b>	<b>83</b>	<b>97</b>			<b>137</b>			<b>210</b>		<b>215</b>

Fuente: Anuario de aforos de tráfico año 2011 MTI. Pag. 98.

Aplicando la ecuación. 3.7 para determinar la tasa de crecimiento para el período (2009 – 2011) obtenemos.

$$TC = \left[ \left( \frac{215}{210} \right)^{\frac{1}{2}} - 1 \right] * 100$$

$$TC = 0.011834 * 100 = 1.18\%$$

Concluimos que para este período el tráfico en el tramo creció a una tasa de **1.18%.**

#### **3.5.4 Producto interno bruto (PIB)**

Esta variable es el valor de todos los bienes y servicios finales producidos dentro de una nación en un periodo. El PIB en congruencia al poder adquisitivo (PPA) de una nación es la suma de valor de todos los bienes y servicios producidos en un país. Se utiliza como un indicador de la riqueza generada por una nación, durante un año, un trimestre u otra medida de tiempo.

El PIB promedio de los últimos 10 años es de 4.17 %.

**Tabla N° 3.8. Producto interno bruto (PIB)**

<b>AÑO</b>	<b>PIB</b>	<b>% Crecimiento PIB</b>
2003	28,795.50	2.5
2004	30,325.20	5.3
2005	31623.9	4.3
2006	119,235.20	4.2
2007	125,231.50	5
2008	130,235.00	4
2009	127397.7	2.2
2010	132,012.90	3.6
2011	139,206.30	5.4
2012	146,451.30	5.2
<b>Promedio</b>		<b>4.17</b>

Fuente: Estadísticas macroeconómicas, BCN. Anuario 2012.

Tomando en cuenta la tasa de crecimiento vehicular es del %1.18 y el PIB del departamento es de 4.17 se tomó el 2% dado que el proyecto no será afectado en esta misma proporción.

### **3.6 Tránsito de diseño**

#### **3.6.1 Período de diseño (N)**

Es el tiempo total para el cual se diseña el pavimento en función de la proyección del tránsito y el tiempo que se considera apropiado para que las condiciones del entorno comiencen alterar, el funcionamiento del pavimento.

Basándonos en el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño geométrico de las carreteras regionales, el período de diseño recomendado para esta vía en estudio, clasificado como colectora rural es de 10 a 20 años. Para efecto de diseño el período a utilizar en el presente proyecto es de **20 años**.

Hoy en día, se recomienda que se estudien los pavimentos para un período de comportamiento mayor, ya que ellos pueden dar lugar a una mejor evaluación de las alternativas a largo plazo.

**Tabla N° 3.9. Período de diseño (N)**

Tipo de carretera	Período de diseño (años)
Autopista Regional	20 – 40
Troncales Sub-Urbanas	15 – 30
Troncales Rurales	
Colectoras Sub-Urbanas	10 – 20
<b>Colectoras Rurales</b>	

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para Diseño de Carreteras Regionales, SIECA 2001. Pag. 10.

### 3.6.2 Factor direccional (FD)

El factor direccional es el factor del total del flujo vehicular censado; generalmente su valor es de 0.5, ya que la mitad de los vehículos va en una dirección; y la otra mitad va en otra.

**Tabla N° 3.10. Factor de distribución por dirección (FD)**

Número de carriles en ambas direcciones	FD %
<b>2</b>	<b>50</b>
4	45
6 o más	40

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para Diseño de Carreteras Regionales, SIECA 2001.

Considerando la condición ideal para vías de dos carriles en ambas direcciones; asignamos el valor de **0.5** para el tramo en estudio.

### 3.6.3 Factor de crecimiento (FC)

El factor de crecimiento depende del número de años al que se proyectará el tránsito, la tasa del incremento anual vehicular; además refleja la medida en que aumentará el flujo de vehículos en el período de diseño.



$$FC = \frac{(1+i)^n - 1}{i} * 365 \quad (\text{Ec -3.5})$$

Dónde:

FC: Factor de crecimiento.

i: Tasa de crecimiento del tránsito (%).

n: Período de diseño (años).

365: Días del año.

Sustituyendo valores obtenemos:

i: 2.0 %.

n: 20 años.

$$FC = \frac{(1 + 0.0202)^{20} - 1}{0.0202} * 365 \quad (\text{E - 3.6})$$

$$FC = 8886.22 \approx 8886$$

### 3.6.4 Factor de distribución por carril

Este factor se define por el carril de diseño aquel que recibe el mayor número de ESAL'S. Para un camino de dos carriles, cualquiera de los dos puede ser el carril de diseño, ya que el tránsito por dirección forzosamente se canaliza por ese carril.

**Tabla Nº 3.11. Factor de distribución por carril**

Número de carriles en una sola dirección	Fc'
1	1
2	0.80 - 1.00
3	0.60 - 0.80
4	0.50 - 0.75

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para Diseño de Carreteras Regionales, SIECA 2001.

Para nuestro tramo en estudio asignamos el valor de **Fc' = 1** puesto que la vía posee un solo carril para un sentido direccional.

### 3.6.5 Determinación del tránsito de diseño

Es el volumen de tránsito para un año cualquiera; siendo el número de veces, que pasara el tránsito por la vía en (n) años.

$$TPDA_{2034} = To_{2014} * (1 + i)^n \quad (EC - 3.7)$$

Dónde:

To = Tránsito Inicial en el año n.

i= Tasa de crecimiento anual en %

n= Número de año en el período de diseño.

**Tabla N° 3.12. Tránsito proyectado, para el tramo, Las Sabanas – El Cipián al año 2034**

Tipo de vehículo	TPDA <sub>2014</sub>	Tasa de crecimiento	N	TPDA Proyectado 2034
Motos	57	0.0202	20	85
Autos	59	0.0202	20	88
Jeep	25	0.0202	20	37
Camionetas	57	0.0202	20	85
Micro Bus	5	0.0202	20	7
Bus	11	0.0202	20	16
Liviano de carga	39	0.0202	20	58
C2	38	0.0202	20	57
C3	22	0.0202	20	33
<b>Total</b>				<b>466</b>

Fuente: Elaboración Propia.

Teniendo el tránsito proyectado se determinó el tránsito de diseño de la siguiente manera:

$$T_D = TPDA_0 * FC * FD * F'_C$$

$$T_D = TPDA_{2014} * FC * FD * F'_C \quad (EC 3.8)$$

Dónde:

TPDA<sub>0</sub>: Tránsito Promedio Diario Anual del año cero.

FC: Factor de crecimiento

FD: Factor de distribución por sentido

Fc': Factor de distribución por carril

**Tabla N° 3.13. Tránsito de diseño para el tramo: Las Sabanas – El Cipían**

Tipo de vehículo	TPDA <sub>2014</sub>	FC	FD	Fc'	TPD Veh/D - 2034
Motos	57	8886	0.5	1	253251
Autos	59	8886	0.5	1	262137
Jeep	25	8886	0.5	1	111075
Camionetas	57	8886	0.5	1	253251
Micro Bus	5	8886	0.5	1	22215
Bus	11	8886	0.5	1	48873
Liviano de carga	39	8886	0.5	1	173277
C2	38	8886	0.5	1	168834
C3	22	8886	0.5	1	97746
<b>Total (Unidades)</b>					<b>1390659</b>

Fuente: Elaboración propia.

$$TD = 57 \times 8886 \times 0.5 \times 1$$

$$TD \text{ (Motos)} = 253251$$

# **CAPÍTULO IV**

## **ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL**

#### **4.1 Legislación vigente**

La Ley No 217<sup>4</sup> “Ley General del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales” establece las normas para la conservación, protección, mejora y restauración del medio ambiente y los recursos naturales que lo integran asegurando su uso racional y sostenible”.

El arto 3 de esta ley, fija como objetivo “la prevención regulación y control de cualquiera de las causas o actividades que originen deterioro del medio ambiente y los ecosistemas.

Así como también sus reformas ley No 647 “ley de reformas y adiciones a la ley No 217,- “Ley general del medio ambiente y los recursos naturales”, donde en su artículo 25 se mandata: “El sistema de evaluación ambiental será administrado por el Ministerio del Ambiente y de los recursos naturales en coordinación con las instituciones que correspondan”.

Esto implica que los proyectos, obras, industrias o cualquier otra actividad que por sus características, puede producir deterioro al ambiente y/o los recursos naturales, deberán obtener, previo a su ejecución, el permiso ambiental otorgado por el Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales (MARENA).

El decreto 76 – 2006 rige el “Sistema de evaluación ambiental” y tiene como objeto establecer las disposiciones que regulan el Sistema de Evaluación Ambiental de Nicaragua. En su artículo 18 del capítulo IV. – “Impactos Ambientales moderados”. Cita: Modificaciones al trazado de carreteras, autopistas, vías rápidas y vías sub-urbanas preexistentes, medido en una longitud continúa de menos de (10 km) y nuevas vías intermunicipales.

---

<sup>4</sup> Asamblea Nacional de la República de Nicaragua. (2006). Decreto 76 – 2006. Sistema de Evaluación Ambiental. Publicado en la Gaceta Diario Oficial No.248 de 22 de diciembre .del 2006

Según la ley los proyectos de **Categoría Ambiental III**, están sujetos a un Estudio de Impacto Ambiental, lo cual es aplicado al proyecto: Diseño de 1.5 km de pavimento articulado por el método AASHTO 93, del tramo Las Sabanas – El Cipián en el municipio de Las Sabanas departamento de Madriz.

Para determinar cualitativamente dichos impactos ambientales se usó una serie de matrices donde se le asignaron valores de acuerdo a las relaciones de las actividades vinculadas.

En la evaluación se abordaron factores que afectan ya sea positiva o negativamente de la zona en estudio.

#### **4.2 Descripción del Proyecto**

El proyecto está ubicado en la entrada al casco urbano del municipio de Las Sabanas, su macro y micro localización esta detallada en el capítulo 1 de este documento. Cabe señalar que la ejecución de la obra tendrá efectos sobre la población que habita en el sector, los productores del municipio y los conductores que hacen uso de la vía.

El proyecto se basa en la construcción de 1.5 km de adoquinado, este ofrece beneficios no solo al área donde está ubicado, sino también a todos los habitantes que hacen uso de la carretera.

#### **4.3 Metodología del análisis ambiental**

- Análisis de la calidad ambiental del sitio sin considerar el proyecto, haciendo valoraciones de causas y efectos.
- Evaluación de los impactos ambientales que genera el proyecto, considerando para esto las acciones impactantes y efectos sobre los factores ambientales en cada sitio del proyecto.
- Realización de un programa de mitigación de los impactos ambientales generados por el proyecto, haciendo referencia a las acciones impactantes, los efectos y las medidas más idóneas.

- Construcción de un programa de contingencia ante riesgos, en el cual se describan las características del riesgo, especificando su peligrosidad y las medidas a tomar según sea el caso.

La evaluación del sitio se realizó mediante el llenado de tres (3) histogramas estadísticos.

En los cuales se abordan tres componentes con sus diversas variables: **(Geología, Ecosistema e Institucional y Social).**

Para cada componente se evaluó valorando todas las variables que lo integran, para ello se contó con la información de las características ambientales del territorio donde se emplazará el proyecto, se llenó una matriz de los valores obtenidos en cada escala E que va desde un valor 1 (situaciones más riesgosas) hasta 3 (situaciones libres de todo tipo de riesgos).

En las tablas, se puede constatar que la columna P, correspondió al peso o importancia del problema; de esta manera, que las situaciones más riesgosas o ambientalmente incompatibles tienen la máxima importancia o peso (3); mientras que las situaciones no riesgosas tienen la mínima importancia o peso (1), mientras que las situaciones intermedias tienen un peso o importancia mediano (2). La columna F indica la frecuencia con que aparece determinada escala en el análisis.

El valor total alcanzado para cada componente se obtuvo mediante el resultado de la ecuación,  $\text{Valor total} = \sum E \times P \times F / \sum P \times F$ .

#### **4.4 Evaluación de emplazamiento**

En proyectos horizontales, como el adoquinado de 1.5 km de carretera en el tramo Las Sabanas – El Cipián, se evalúan las características generales del sitio, a través del análisis del emplazamiento.

**Tabla N° 4.1. Resultados del análisis de emplazamiento en el componente Geología.**

Componente Geología									
E	Sismicidad	Deslizamiento	Vulcanismo	Sedimentos	Calidad del suelo	P	F	ExPxP	PxF
1						3	0	0	0
2				x		2	1	4	2
3	X	x	x		X	1	4	12	4
Valor total: (ExPxP) / (PxF) = 2.67								16	6

Fuente: Elaboración propia.

Este proyecto según el componente de Geología descrito en la tabla N° 4.1, alcanzo el valor de 2.67, lo que significa que el sitio es poco vulnerable, con muy bajo componente de riesgo a desastre y/o bajo deterioro de la calidad ambiental a pesar de limitaciones aisladas. Este proyecto es elegible para la alternativa de sitio.

**Tabla N° 4.2. Resultados de la evaluación de emplazamiento en el componente Ecosistema**

	Hidrología superficial	Hidrología subterránea	P	F	ExPxP	PxF
E						
1			3	0	0	0
2			2	0	0	0
3	x	x	1	2	6	2
Valor total: (ExPxP) / (PxF) = 3					6	2

Fuente: Elaboración propia.

Como se logra apreciar en la tabla N° 4.2, los resultados del análisis del emplazamiento en el componente de Ecosistema, alcanzó el valor de 3, lo que significa que el sitio es poco vulnerable.

Este proyecto es elegible para la alternativa de sitio.



**Tabla N° 4.3. Resultados de la evaluación de emplazamiento en el componente institucional social**

Componente Institucional Social							
E	Conflictos territoriales	Participación ciudadana	Plan de inversión y sostenibilidad	P	F	ExPxP	PxF
1				3	0	0	0
2				2	0	0	0
3	x	X	x	1	3	9	3
Valor total: (ExPxP) / (PxF) = 3						9	3

Fuente: Elaboración propia.

Desde la óptica del componente institucional social, el resultado de la tabla N° 4.3, es de 3, lo que indica que el sitio es poco vulnerable a los efectos sociales e institucionales con muy bajo nivel de riesgo. Por lo que el resultado del análisis del emplazamiento en el componente institucional social es elegible.

#### **4.5 Análisis de la calidad ambiental del área de influencia del proyecto**

A continuación se presenta de manera resumida el análisis de los principales problemas ambientales:

**Tabla N° 4.4. Análisis de los principales problemas ambientales**

<b>Factor ambiental</b>	<b>Causas</b>	<b>Efectos</b>	<b>Nivel de Calidad</b>
Calidad del aire	Producto de la circulación de vehículos en la carretera.	Formación de polvo, contaminación del aire por la emisión polvo y humo.	3
Aguas superficiales	Vertido directo de aguas servidas y desechos sólidos a fuentes de aguas superficiales.	Contaminación de aguas superficiales, con repercusión en la salud y en el ecosistema.	3
Suelos	Uso del suelo en sitios inadecuados, sin tomar en cuenta su capacidad de uso.	Erosión hídrica y eólica.	3
Geología	Modificación de la topografía sin drenajes	Erosión hídrica	2
Cubierta vegetal	Deforestación y desplazamiento de especies nativas ornamentales.	Erosión, daño al hábitat de la fauna.	3
Paisaje	Modificación de la vegetación existente.	Pérdida de la calidad del paisaje.	3
Calidad de vida	Condiciones higiénico sanitarias y epidemiológicas deficientes	Alteraciones de la salud de la población, brotes de dengue, malaria, diarrea, cólera, etc.	3

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla N° 4.4 se reflejan de manera general, los niveles de impacto; cuyos niveles oscilan entre medios y bajos (escala 2 y 3, respectivamente).

#### **4.6 Posibles impactos esperados con el proyecto**

El impacto generado por un proyecto se mide según las alteraciones ambientales que puede crear las diferentes acciones de la obra, tomando en consideración las diferentes etapas o estudios por los que transitará el proyecto.

En la siguiente tabla N° 4.5 se reflejan de manera general, los niveles de impacto; cuyos niveles oscilan entre medios y bajos (escala 2 y 3, respectivamente). Sin embargo, en el periodo de funcionamiento de la obra el análisis no prevé ninguna amenaza, por lo que sus valores fueron en términos de valoración insignificantes (escala tres).

De los posibles impactos negativos que deben ser considerado al momento de ejecutar las medidas de mitigación son: en la generación de ruido producida por los equipos utilizados, los riesgos de accidentes, el riesgo de contaminación producida por los derivados del petróleo.

A continuación se detallan las actividades que intervienen durante la construcción y funcionamiento del proyecto.

#### **4.6.1 Durante la etapa de construcción**

- 1 – Preliminares.
- 2 – Movilización de Maquinaria y Equipos.
- 3 – Construcción de obras temporales.
- 4 – Movimiento de tierra.
- 5 – Transporte de Materiales.
- 6 – Vulnerabilidad.
- 7 – Depósito de materiales.
- 8 – Limpieza Final.

#### **4.6.2 Durante la etapa de funcionamiento**

- 1 – Incremento del tráfico.
- 2 – Conservación (pintura y limpieza).
- 3 – Aumento de la accesibilidad.
- 4 - Acciones ligadas a la demografía.

**Tabla Nº 4.5. Principales impactos ambientales que genera el proyecto**

Tipo de Proyecto	Etapas del proyecto	Actividades del proyecto	Factor ambiental impactado	Efecto directo de la acción sobre el factor ambiental	Nivel de Impacto
Construcción de 1.5 km de adoquinado en el tramo Las Sabanas – El Ciprián	Construcción	Preliminares	Transporte	Obstrucción del tráfico en el tramo afectado	3
		Movilización de maquinaria y equipo	Calidad del aire	Aumento de partículas de polvo	3
			Transporte	Interrupción del tráfico, desvío de vehículos	3
			Acceso peatonal	Peligros de accidentes en la zona	2
			Salud	Enfermedades respiratorias	3
		Construcción de obras temporales	Calidad del aire	Proliferación de polvo	3
			Ruido	Aumento de ruido	2
		Movimiento de tierra	Calidad del aire	Aumento de partículas de polvo	3
			Transporte	Interrupción del tráfico y desvío de vehículos	3
			Acceso peatonal	Accidente en la zona	3
			Salud	Enfermedades respiratorias	3
		Transporte de materiales	Calidad del aire	Aumento de partículas de polvo	3
			Transporte	Interrupción del tráfico y desvío de vehículos	3
			Acceso peatonal	Peligro de accidentes en la Zona	3
			Salud	Enfermedades respiratorias	3
		Vulnerabilidad	Población	Accidentes	3

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N° 4.6. Principales impactos ambientales que genera el proyecto**

Tipo de Proyecto	Etapas del proyecto	Actividades del proyecto	Factor ambiental impactado	Efecto directo de la acción sobre el factor ambiental	Nivel de Impacto
Construcción de 1.5 km de adoquinado en el tramo Las Sabanas – El Ciprián	Construcción	Depósito de materiales	Calidad del aire	Aumento de partículas de polvo	3
			Transporte	Interrupción del tráfico y desvío de vehículos	3
			Acceso peatonal	Peligro de accidentes en la zona	3
			salud	Enfermedades respiratorias	3
		Limpieza final	Calidad del aire	Aumento de partículas de polvo	3
			Salud	Enfermedades respiratorias	3
	Funcionamiento	Incremento del tráfico	Calidad del aire	Aumento de emisión de humo	3
			Salud	Enfermedades respiratorias	3
		Conservación , (pintura y limpieza)	Calidad del aire	Aumento de emisión de gases tóxicos	3
			Salud	Enfermedades respiratorias	3
		Aumento de la accesibilidad	Transporte	Mayor número de vehículos en la zona	0
		Calidad de vida	Población,	Mayor accesibilidad y mejor economía	0

Fuente: Elaboración propia.

Claves de Nivel de Impacto:

Nivel 1: Alto; Nivel 2: Medio; Nivel 3: Bajo; Nivel cero: cuando el efecto es positivo.

**Tabla N° 4.7. Medidas de mitigación**

<b>Tipo de proyecto</b>	<b>Acciones impactantes</b>	<b>Efectos</b>	<b>Medidas de mitigación</b>
Construcción de 1.5 km de adoquinado en el tramo Las Sabanas – El Ciprián	Trabajos de construcción	Producción de polvo	Humedecimiento de la tierra de conformidad a las Nic – 80. Evitar el movimiento innecesario de maquinaria
		Producción de ruidos	Regulación de horarios. Evitar el movimiento innecesario de maquinarias
		Riesgos de contaminación por grasas y combustibles	Selección de sitios para mantenimiento de la maquinaria y recolectar residuos de grasas y combustibles, los cuales deberán estar provistos de material impermeabilizante o recipientes herméticos que eviten la contaminación directa al suelo
		Desaparición de comunidades vegetales interceptadas por el proyecto y el movimiento de máquinas	Restringir destrucción de plantas, por el movimiento de la maquinaria. Posibilidad de compensación de la cubierta vegetal.
		Riesgo de daño a la infraestructura pública y privada	Reparación de daños causados a la propiedad pública y/o privada
	Trabajos en los bancos de prestamos	Alteración de la geomorfología de los bancos de prestamos	Realizar plan operativo de explotación de banco. Proporcionar el corte de taludes acorde al ángulo de reposo, evitando cortes innecesarios. (sujeto a aprobación)

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N° 4.8. Medidas de mitigación**

<b>Tipo de proyecto</b>	<b>Acciones impactantes</b>	<b>Efectos</b>	<b>Medidas de mitigación</b>
Construcción de 1.5 km de adoquinado en el tramo Las Sabanas – El Ciprián	Trabajos en los bancos de prestamos	Alteración de la geomorfología de los bancos de prestamos	Realizar plan operativo de explotación de banco. Proporcionar el corte de taludes acorde al ángulo de reposo, evitando cortes innecesarios. (sujeto a aprobación)
	Trabajos de construcción	Riesgos de derrumbes o deslizamientos	Revestir taludes con capa vegetal
		Riesgos de contaminación por derrame de combustibles y grasas de maquinas	Selección de sitios para mantenimiento de la maquinaria, recolectar residuos de grasas y combustibles
		Destrucción de la vegetación	Restringir destrucción y movimiento de la maquinaria
		Riesgos de accidentes	Señalización y control del tráfico en el transporte y vertido de materiales
	Explotación de la infraestructura de rodamiento o caminos	Incremento de los niveles de ruido por el aumento del tránsito de vehículos y otros contaminantes	Trabajar con velocidades de diseño y evitar las fuertes pendientes del trazado
		Aumento de los riesgos de accidentes de tránsito	Señalización
		Acumulación de basura	Limpieza periódica

Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Sintetizando los resultados de la evaluación del emplazamiento en lo relativo a los componentes de geología, ecosistemas e institucional social son de bajos riesgos.
- ✓ Se esperan que los impactos ambientales negativos generados por el proyecto oscilen entre los niveles de bajos a medios.
- ✓ Los impactos ambientales negativos pueden ser mitigados o compensados con medidas de prevención y protección al medio ambiente, descritas en las tablas 4.7 y 4.8.



## **CAPÍTULO V**

# **DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO**

## **5.1 Introducción**

Un pavimento es una estructura conformada por diferentes capas, de diferentes espesores.

Cada capa recibe las cargas de la capa superior, las distribuye, luego pasa estas cargas a la capa inmediatamente inferior. Por lo tanto, cuanto más abajo este una capa menor es la carga que recibe.

Los pavimentos con adoquín tienen una capa de rodadura conformada por adoquines de concreto de 10 cm de espesor, colocados sobre una capa de arena con un espesor requerido de 3 a 5 cm y con un sello de arena entre sus juntas, presentan una base de material granular y pueden tener una sub-base dependiendo si el diseño así lo amerita.

El método utilizado para efectuar el diseño, fue el de la AASHTO-93, el cual recomienda que para pavimentos con adoquín aplicar los mismos criterios de diseño establecidos para pavimentos flexibles, este método toma en cuenta el valor de soporte del suelo, la cantidad de ejes equivalentes a 18,000 lbs, que transitarán en el período de diseño, drenaje en el área del proyecto, etc. Este método considera las siguientes variables:

## **5.2 Índice de serviciabilidad**

Se define como la capacidad de servir al tipo de tránsito para el cual ha sido diseñado. En el diseño del pavimento se deben elegir la serviciabilidad inicial y final la mejor forma para evaluar esto es por el índice servicio presente (PSI), en una escala de 0 a 5, entre mayor sea el número, mejor será su condición al tráfico. Para ello debe asumirse la serviciabilidad inicial,  $p_0$ , es función del diseño del pavimento y de la calidad de la construcción y la serviciabilidad final o terminal,  $p_t$ , es función de la categoría del camino y es adoptada en base a ésta y al criterio del proyectista. Los valores recomendados son los que se obtuvieron en el AASHTO Road Test:

### 5.2.1 Serviciabilidad inicial:

$p_o = 4.5$  para pavimentos rígidos.

$p_o = 4.2$  para pavimentos flexibles.

### 5.2.2 Serviciabilidad final:

$p_t = 2.5$  Lo más para caminos muy importantes.

$p_t = 2.0$  para caminos de menor tránsito<sup>5</sup>.

Para la determinación de la serviciabilidad de un pavimento se toma en cuenta que la serviciabilidad final de un pavimento ( $P_t$ ) depende del tránsito y del índice de servicio inicial ( $P_o$ ).

$p_o$  (Serviciabilidad Inicial) = 4.2 Para pavimentos flexibles.

$p_t$  (Serviciabilidad Final) = 2 Para vías de tráfico normal.

### 5.2.3 Pérdida de serviciabilidad ( $\Delta PSI$ )

La pérdida de la serviciabilidad es la diferencia que existe entre la inicial y la final. (Diseño de pavimentos AASHTO 93. Edición 2006. Página 172).

Se calcula con la siguiente ecuación:

$$\Delta PSI = p_o - p_t \quad (\text{EC - 5.1})$$

$$\Delta PSI = 4.2 - 2.0 \quad \Delta PSI = 2.2$$

## 5.3 Análisis de cargas y ejes equivalentes para el diseño de pavimento

Definiremos como ESAL's de diseño a la transformación de ejes de un tránsito mixto que circula por una vía a ejes equivalentes de 8.2 toneladas, 18 kips ó 18, 000 libras, en el carril de diseño durante la vida útil del pavimento, haciendo uso del factor de equivalencia de carga, acumulados durante el período de diseño, se hará uso de las cargas por ejes por cada tipo de vehículo permitidas por el Ministerio de Transporte e Infraestructura (Ver Anexos capítulo III. Anexos 2 y 3, página XI).

---

<sup>5</sup> Diseño de pavimentos AASHTO 93. Edición 2006. Página 172.

Para el cálculo de ejes equivalentes (ESAL's) existe un factor correspondiente que se obtienen de las tablas de la AASHTO 93, de los ejes sencillos y dobles, para cada eje de los vehículos la cual a su vez se sugiere utilizar el valor de SN 5, el cual transforma la carga por eje a un número de ejes equivalentes (Ver Anexos capítulo V. Anexos 1 y 2. Páginas XV y XVI).

Los ejes equivalentes se obtienen conociendo el tránsito de diseño y los factores de equivalencia, mediante la siguiente expresión:

$$\text{Esal } 0 \text{ W18} = \text{TD} * \text{FactorCarga (EC - 5.2)}$$

Para realizar el cálculo del **ESALs** de diseño es necesario conocer con anticipación el peso de los vehículos que circularán por el camino durante el período de diseño, y el factor de equivalencia de carga. Para obtener dicho factor se considera una **serviciabilidad final de 2.0**, que es el valor que se recomienda para camino de tránsito menor y un **coeficiente estructural de carga SN = 5**.

Calculamos el factor equivalente de carga (LEF) para cada tipo de vehículo según su peso por eje.

Para un auto el eje delantero y el eje trasero pesan lo mismo, según diagrama de carga de vehículos livianos. Peso de eje: 2200 lbs.= 2.2 Kips.

Para pavimento flexible, con ejes simples y una serviciabilidad  $P_t = 2$ , con un  $SN=5$  se tiene que:

Peso	SN = 5
2 = 2000	0.0002
4 = 4000	0.002

$$4000 - 2000 = 2000$$

$$0.002 - 0.0002 = 0.0018$$

Luego como el peso del automóvil es de 2.2 kips igual a 2,200 lbs entonces hacen falta 200 con respecto a 2200 por tanto se realiza la regla de tres.

$$\begin{array}{cc} 2000 & 0.0018 \\ 200 & X \end{array}$$

$$X = (200 * 0.0018) / 2000$$

$$X = 0.00018$$

Entonces tenemos que el factor equivalente de carga para 2200 va a ser:  
 $0.0002 + 0.00018 = \mathbf{0.00038 = \text{Factor ESALs.}}$

De igual forma se realizan las demás interpolaciones para los otros tipos de vehículos.

En la tabla N°. 5.1, se presentan los otros factores equivalentes de cargas.

Para obtener ESALs para cada tipo de vehículo sustituimos la ecuación 5.2

**ESALs de diseño = TD \* Factor Carga.**

**ESALs (autos) de diseño = 261636 \* 0.00038**

**ESALs (autos) de diseño = 99.42  $\approx$  99**

En la siguiente tabla se presentan los valores de coeficientes de carga ESALs de diseño para cada tipo de vehículo.

**Tabla N° 5.1. Cálculo de ejes equivalentes de 18 kips (8.2 Ton), con un período de diseño a 20 años, SN = 5 y Pt = 2**

Tipo de vehículo	T0	Peso por eje en LBS	Tipo de eje	TD	F. ESAL	ESAL Diseño
Motos	57	0	Simple	253251	0	0
		0	Simple	253251	0	0
Autos	59	2200	Simple	262137	0.00038	100
		2200	Simple	262137	0.00038	100
Jeep	25	2200	Simple	111075	0.00038	42
		2200	Simple	111075	0.00038	42
Camionetas	57	2200	Simple	253251	0.00038	96
		4400	Simple	253251	0.0034	861
Micro Bus	5	4400	Simple	22215	0.0034	76
		8800	Simple	22215	0.0502	1115
Bus	11	11000	Simple	48873	0.1265	6182
		22000	Simple	48873	2.35	114852
Liviano de cargas	39	8800	Simple	173277	0.0502	8699
		17600	Simple	173277	0.9206	159519
C2	38	11000	Simple	168834	0.1265	21358
		22000	Simple	168834	2.35	396760
C3	22	11000	Simple	97746	0.1265	12365
		36300	Doble	97746	1.4325	140021
<b>Total ESAL de diseño</b>						<b>862188</b>

Fuente: Elaboración propia.

Para el diseño del tramo de vía en estudio se obtuvo un valor de:

**ESAL o W18 = 862188 ejes equivalentes de 8.2 toneladas en el carril de diseño.**

#### **5.4 Confiabilidad (R)**

De acuerdo con la clasificación funcional de la vía, la guía de la AASHTO.1993 recomienda diferentes niveles de confiabilidad. Para nuestro tramo y dada la ubicación en la que se encuentra la vía, y el tránsito que utilizara esta es liviano, se asume un valor de confiabilidad (**R**) de **80 %**, que corresponde a un valor recomendado, para una clasificación como una zona rural y para tipo de caminos colectores.

**Tabla Nº 5.2. Niveles de confiabilidad recomendado por la AASHTO, para clasificaciones funcionales diferentes**

Tipo de camino	Confiabilidad recomendada	
	Zona urbana	Zona rural
Rurales interestatales y autopistas	85 – 99.9	80 – 99.9
Arterias principales	80 – 99	75 – 99
<b>Colectoras</b>	80 – 95	<b>75 – 95</b>
Locales	50 – 80	50 – 80

Fuente: Libro de diseño de pavimentos AASHTO 93. Tercera edición. Página 137.

### 5.5 Desviación estándar ( $S_o$ )

La desviación estándar ( $S_o$ ), es un factor que representa la cantidad de datos dispersos dentro de los cuales pasa la curva real del comportamiento de la estructura.

La desviación estándar considera la variabilidad asociada a cada uno de los parámetros involucrados en el diseño, como la predicción del tránsito y el comportamiento del pavimento. Es un valor representativo de las condiciones locales particulares, este parámetro está ligado directamente y depende del nivel de confiabilidad ( $R$ ) seleccionado; en este paso deberá seleccionarse un valor  $S_o$ . “Desviación Estándar Global”, representativo de condiciones locales particulares, que considera posibles variaciones en el comportamiento del pavimento y en la predicción del tránsito.

La guía de la AASHTO. 1993 recomienda adoptar valores de  $S_o$  comprendidos dentro de los siguientes intervalos:

**Tabla Nº 5.3. Desviación estándar para pavimentos rígidos y flexibles**

Condiciones de diseño	Desviación estándar
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento sin errores en el tránsito.	0.35 pavimento Rígido
	<b>0.45 Pavimento Flexible</b>
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento con errores en el tránsito.	0.40 Pavimento Rígido
	0.50 Pavimento Flexible

Fuente: Libro de diseños para pavimentos. AASHTO 93. Tercera edición. Página 135.

En el presente estudio se utilizará un valor de desviación estándar de  $S_o = 0.45$  para este diseño.

## 5.6 Coeficiente de drenaje

El drenaje de agua en los pavimentos debe ser considerado como parte importante en el diseño de carreteras. El exceso de agua combinado con el incremento de volúmenes de tránsito y cargas, se anticipa con el tiempo para ocasionar daños a las estructuras del pavimento.

A pesar de la importancia que se concede al drenaje en el diseño de carreteras, los métodos corrientes de dimensionamiento de pavimentos incluyen con frecuencia capas de base de baja permeabilidad y consecuentemente de difícil drenaje.

**Tabla Nº 5.4. Coeficientes de drenaje para pavimentos flexibles**

Calidad de drenaje	% de tiempo en el que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación			
	> 1%	1 – 5 %	5 – 25%	< 25%
Excelente	1.40 – 1.35	1.35 – 1.30	1.30 – 1.20	1.20
<b>Bueno</b>	1.35 – 1.25	1.25 – 1.15	1.15 – 1.00	<b>1.00</b>
Regular	1.25 – 1.15	1.15 – 1.05	1.00 – 0.80	0.80
Pobre	1.15 – 1.05	1.05 – 0.80	0.80 – 0.60	0.60
Muy pobre	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.70	0.40

Fuente: Libro de diseño de pavimentos AASHTO 93. Tercera edición. Página 148.

El valor asumido en este diseño fue del 1.00 por que las pruebas de CBR se hacen en condiciones saturadas.

## 5.7 Propiedades de los materiales

### 5.7.1 Determinación del CBR de diseño

Una vez obtenidos los CBR en los ensayos de laboratorio en las muestras tomadas a lo largo del camino se observa que estos resultados como es de suponer no son constantes dado a las características granulométricas, es por eso que es necesario seleccionar un CBR de diseño para todo el tramo que



tome en cuenta la capacidad de soporte de los materiales existentes en el camino.

El suelo típico de subrasante de una unidad de diseño es un material sobre el cual se efectuaron 08 ensayos de CBR y los resultados fueron 18, 47, 48 y 71 %. Con estos datos se calcula el CBR de diseño para un tránsito de  $8.62188 \times 10^5$  ejes simples equivalentes de 8.2 toneladas durante el período de diseño.

Solución:

Presentamos una tabla de resumen con los datos de CBR de la subrasante considerando una profundidad de 25 cm de la superficie:

**Tabla N°. 5.5. Valores de CBR para diseño**

Clasificación		Índice de grupo	CBR (95%)
AASHTO	SUCS		
A - 1 - a	GW	0	71
A - 1 - a	GM	0	48
A - 2 - 4	GM	0	47
A - 2 - 7	SM	0	18

Fuente: Laboratorio INGENICA. Alfonso Jerez F. Consultor en Ingeniería Geotécnica.

**Tabla N° 5.6. Criterio del Instituto de Asfalto para determinar el CBR de diseño**

Límites para Selección de Resistencia.	
Número de ejes de 8.2 ton en el Carril de diseño (n)	Percentil a seleccionar para hallar la resistencia
$< 10^4$	60
<b><math>10^4</math> a <math>10^6</math></b>	<b>75</b>
$> 10^6$	87.5

Fuente: Ingeniería de Pavimentos para Carreteras. Ing. Alfonso Montejo Fonseca. Segunda Edición 2001. Página 68.

ESAL o W18 = 862188 ejes equivalentes de 8.2 toneladas en el carril de diseño.

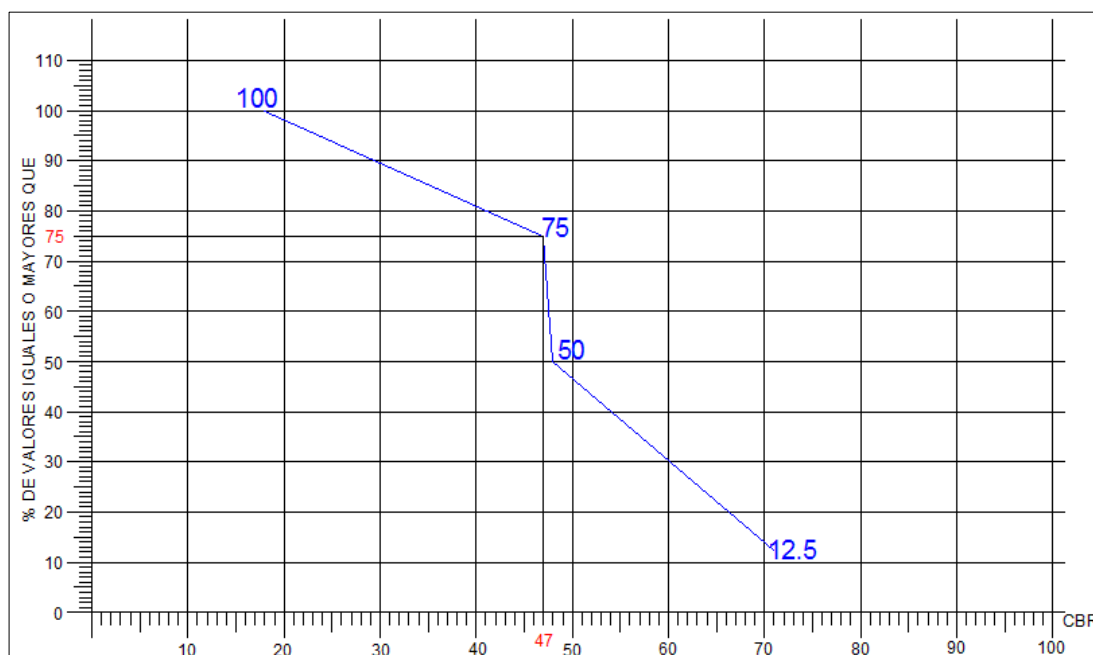
Se ordenan los valores de resistencia de menor a mayor y se determina el número y el porcentaje de valores iguales o mayores de cada uno.

**Tabla N° 5.7. Cálculo para determinar el CBR de diseño**

Tipo de Suelo		CBR (95%)	Frecuencia	Número de valores iguales o mayores que	% de valores iguales o mayores
AASHTO	SUCS				
A - 2 - 7	SM	18	2	8	$(10/10)*100 = 100$
A - 2 - 4	GM	47	2	6	$(8/10)*100 = 75$
A - 1 - a	GM	48	3	4	$(7/10)*100 = 50$
A - 1 - a	GW	71	1	1	$(6/10)*100 = 12.5$
			8		

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfico N°5.1. Determinación del CBR de la subrasante**



Al trazar la tangente sobre el valor percentil de 75% obtenemos el CBR de diseño para la sub-rasante igual a 47 %.

## 5.8 Propiedades de los materiales

### 5.8.1 Módulo Resiliente (MR)

Es la propiedad utilizada para caracterizar el suelo de la fundación del camino y otras capas. Para su determinación se ha establecido correlaciones a partir de otros ensayos como el CBR encontrándose que su relación se define como:

Las ecuaciones de correlación recomendadas son las siguientes:

- Para materiales de sub-rasante con CBR igual o menor a 10 %  $MR = 1,500 \times CBR$  (Ec – 5.3)

- Para materiales de sub-rasante con valores de CBR mayores a 20 %  
 $MR = 4,326 \times \ln(CBR) + 241$  (Ec – 5.4)

Cálculo para determinar el módulo de resiliencia, para CBR de 47% en la sub-rasante.

$$MR = 4,326 \times \ln(CBR) + 241$$

$$MR = 4,326 \times \ln 47 + 241$$

$$MR = 16,896.74 \text{ PSI}$$

Hay que destacar que el material usado en el diseño de la base es el banco de materiales Beltrán, ya que cumple con el CBR de 80% porque cumple con las especificaciones NIC 2000 y además está ubicado en la parte central del proyecto (menor distancia).

El módulo resiliente de la base nos dio un resultado de 28500 PSI, se calculó por medio del nomograma de relación entre el coeficiente estructural para base granular y distintos parámetros resistentes. (Ver Anexos capítulo V. Anexo 4, página XVIII).

### 5.8.2 Coeficientes estructurales de capa

Son factores estructurales que involucran las características físicas y propiedades de los diferentes materiales, para servir como componente estructural del pavimento.

Los coeficientes estructurales de capa son requeridos para el diseño estructural normal de los pavimentos, lo que permite convertir los espesores reales a los números estructurales (SN), siendo cada coeficiente una medida

de la capacidad relativa de cada material para funcionar como parte de la estructura del pavimento.

### **5.8.3 Coeficiente estructural de la carpeta (Adoquín) $a_1$**

Para el coeficiente estructural del adoquín se utilizó el valor de 0.45, empleado en el ejercicio de diseño de pavimento de adoquín por el método AASHTO 93, ilustrado en el Manual Centroamericano de Pavimento pág. 107.

Este ensayo fue desarrollado a los efectos de estudiar una propiedad del material que describa mejor el comportamiento del suelo bajo cargas dinámicas de ruedas.

### **5.8.4 Coeficiente estructural para base granular $a_2$**

El coeficiente estructural para el caso de que la capa base esté constituida por agregados no-tratados (**ab**) (tal como es el caso de las bases de piedra picada, grava triturada, grava cernida, macadam hidráulico, etc.), se determina, a partir del Módulo Resiliente.

El coeficiente estructural  **$a_2$  es 0.135**, el cual se obtiene del nomograma para bases granulares no-tratadas de la AASHTO-93 Página Número 35. (Ver Anexos capítulo V. Anexo 4, página XVIII).

## **5.9 Cálculo de espesores**

Tenemos los valores encontrados anteriormente.

Ejes equivalentes ESALs: 862188 ejes equivalentes por carril de diseño.

- Confiabilidad (%) R: 80.
- Desviación Estándar So: 0.45
- Serviciabilidad Inicial Po: 4.2
- Serviciabilidad final Pt: 2.0
- Serviciabilidad ( $\Delta$  psi): 2.2
- Propiedades de los materiales

Módulo Resiliente Sub –Rasante: 16,896.74 PSI

✓ Módulo Resiliente Base: 28,500 PSI

- ✓ Coeficiente Estructural Carpeta Adoquín  $a_1$ : 0.45
- ✓ Coeficiente Estructural Base  $a_2$ : 0.135
- Drenaje (mi): 1.00

### 5.9.1 Cálculo del número estructural (SN) y espesores de capas (D)

Para el cálculo de SN; utilizamos el nomograma para resolver la ecuación AASHTO (ver Anexos capítulo V. Anexo 3, página XVII). Obteniendo un resultado de SN para subrasante = 2.4 y SN para base = 1.95.

El espesor del adoquín es estándar de 4 pulgadas. Por tanto SN1 ya está dado:

$$D1^* = 4 \text{ Pulg de espesor}$$

$$SN1 = D1^* \times a_1 \quad (Ec - 5.5)$$

$$SN1^* = (4 \times 0.45)$$

$$SN1^* = 1.8$$

BASE

$$SN = SN2^* - SN1^* \quad (Ec - 5.6)$$

$$SN = 2.4 - 1.8$$

$$SN = 0.6$$

$$D2 = SN/a_2 \times m \quad (Ec - 5.7)$$

$$D2 = 0.6 / (0.135 \times 1)$$

$$D2^* = 4.44 \text{ pulgadas de base}$$

**Como verificación:**

$$SN = a_1 \times D1 + a_2 \times D2 \times m \quad (Ec - 5.8)$$

$$SN = (0.45 \times 4) + (0.135 \times 4.44 \times 1.00)$$

$$SN = 1.8 + 0.60$$

$$SN = 2.4$$

$$SN1^* + SN2 \geq SN$$

$$1.80 + 0.60 \geq 2.4$$

$$2.4 \geq 2.4 \text{ OK}$$

### 5.10 Criterios de estabilidad y posibilidad de construcción

Es normalmente impráctico y antieconómico el extender y compactar capas que tengan un espesor menor a determinados mínimos. El tráfico, por otra

parte, puede dictaminar otros espesores mínimos recomendables para lograr que las mezclas tengan estabilidad y cohesión satisfactorias.

La tabla N°. 5.8, que se presenta a continuación, sugiere algunos espesores mínimos para capas de rodamiento y bases, en función de los valores de cargas equivalentes en el período de diseño.

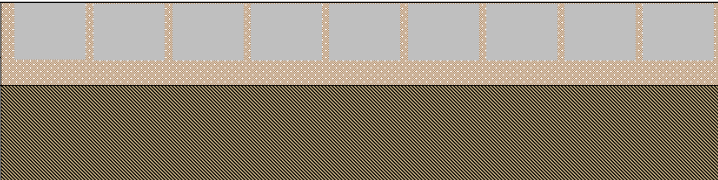
**Tabla Nº 5.8. Nota:** Según la AASHTO-93 los espesores mínimos sugeridos para capas de concreto asfáltico y base en función del tránsito son los siguientes:

Número de ESALs	Concreto Asfáltico	Base Granular
Menos de 50,000	2.5 cm	10 cm
50,000 – 15,000	5,0 cm	10 cm
150,000 – 500,000	6.5 cm	10 cm
<b>500,000 – 2,000,000</b>	7.5 cm	<b>15 cm</b>
2,000,000 – 7,000,000	9.0 cm	15 cm
Más de 7,000,000	10.0 cm	15 cm

Fuente: Guía de Diseño AASTHO 93, Capítulo 3, pág. 46.

El resultado de espesor en el diseño de la Base granular es de 4.44 pulgadas; el cual no cumple con las especificaciones de la AASHTO – 93, es por ello que tomamos 15 cm (6 pulgadas) como lo indica la AASHTO en los espesores mínimos sugeridos para base granular.

- ✓ Capa de rodamiento (adoquín) = 4 " (10 centímetros)
- ✓ Capa de arena = 2" (5 centímetros)
- ✓ Base = 6 " (15 centímetros)

Adoquín	= 10 cm	
Colchón de arena	= 5 cm	
Base	= 15 cm	

**Tabla N° 5.9. Datos usados para calcular espesores en el programa Pavement Analysis Software versión 3.3**

Variables	Valores
SN	2.4
ESALs	862188 ejes equivalentes por carril de diseño.
Confiabilidad	80%
Desviación estándar ( $S_0$ )	0.45
MR	16,896.74 PSI
Servicialidad inicial ( $P_0$ )	4.2
Servicialidad final ( $P_t$ )	2
Coeficiente de drenaje ( $m_1$ )	1
Coeficiente de capa a1	0.45
Coeficiente de capa a2	0.135

Fuente: Elaboración propia.

**5.11 Cálculo de espesores de capas mediante el programa computarizado: Pavement Analysis Software, Pavement Designing Analysis, versión 3.3.**

Pavement Design and Evaluation Ready 05-21-2015

**Flexible Pavement Analysis**

Structural Number	2,26
Design E 18's	862.188
Reliability	80,00
Overall Deviation (*)	0,45
Soil Resilient Mod. (*)	16.897
Initial Serviceability	4,20
Terminal Serviceability	2,00

**UNITS**  
No Units

---

Solve For

---

Structural Number	2,26
-------------------	------

---

PgDn FOR LAYER DETERMINATION

F1:Help F2:List(\*) F9:SolveFor F10:ClrField Esc:Back F8:Report ALT-X:Exit

Pavement Design and Evaluation Ready 05-21-2015

**FLEXIBLE PAVEMENT THICKNESS DETERMINATION**

Layer Number	Layer(*) Coefficient = a (i) =	Drainage Coefficient = m (i) =	Layer Thickness = t =	a(i)*Cd*t	Additional Thickness Needed
Upper	0.45	1.00	4.00	1.80	
2	0.14	1.00	6.00	0.81	
3					
4					
5					
6					

SN Required = 2.61 (Ok)

**UNITS**  
Inches

F1:Help F2:List(\*) F10:Clr Field Esc:Back F8:Report ALT-X:Exit



## **Conclusiones**

### **Sondeos de Línea**

- Los suelos correspondientes al primer estrato estudiado, de acuerdo con los resultados obtenidos, se clasifican principalmente como A-1-a, A-2-4 y A-2-7; son suelos que varían de excelente a buena calidad, utilizados en la construcción de caminos y carreteras según la AASHTO.
- El banco a utilizar será el banco de materiales Beltrán el cual presenta las siguientes características, CBR de 80%, límite líquido 41.7 %, e índice plástico 7.4 %, éste banco de préstamo cumple con el CBR, para lograr el límite líquido e índice de plasticidad se deberá realizar un estudio de estabilización.
- El estudio de tránsito refleja que la afluencia vehicular es mayoritariamente de vehículos livianos con 65 %. El ESAL's obtenido fue 860537 ejes equivalentes por carril de diseño.
- Los impactos ambientales detectados pueden ser considerados de baja significancia en vista de que no representan una alteración permanente al medio ambiente cuya afectación no va más allá del período de ejecución de las mismas.
- Las medidas de mitigación no representan una inversión significativa, más bien están limitadas al cumplimiento de prácticas adecuadas de manejo de desechos, limpieza, mantenimiento preventivo de los equipos y selección adecuada de sitios para depósitos de materiales.
- El resultado de espesor en el diseño de la base granular según el cálculo es de 4.44 pulgadas; el cual no cumple con las especificaciones de la AASHTO – 93, es por ello que tomamos 15 cm (6 pulgadas) como lo indica la AASHTO en los espesores mínimos sugeridos para base granular.
- Para el cálculo de la estructura de pavimento se utilizó el método de la AASHTO - 93, se hizo de manera manual y a través del programa

computarizado Pavement Analysis Software versión 3.3 obteniendo los siguientes resultados:

Una estructura de pavimento constituida por 3 capas: la de rodadura con adoquín, la cama de arena y la base granular. Debido a que el tránsito es mayoritariamente de vehículos livianos con 65 %, no se propone sub-base.

➤ Espesores calculados:

Una capa de rodadura de 4 Pulgadas equivalentes al adoquín.

Una cama de arena de 2 pulgadas.

Una capa de base 6 Pulgadas.

## **Recomendaciones**

- Establecer medidas de control (buena señalización, desvíos, personal que oriente la circulación vehicular) con el objeto que vehículos fuera de diseño (que exceden el límite de carga) transiten y provoquen daño prematuro de la vía.
- Para garantizar el buen funcionamiento y duración de vida útil de la carpeta y estructura de pavimento, se deben construir un buen sistema de drenaje pluvial además de realizar mantenimientos periódicos de manera preventiva, que evita los altos costos del mantenimiento.
- Realizar pruebas de resistencia a los adoquines, para comprobar que cumple las especificaciones técnicas propuestas en el presente documento.
- Garantizar que los materiales a utilizarse sean adquiridos en fábricas certificadas, como una forma de asegurarse de que cumplan con la calidad requerida.
- Se deberá llevar un estricto control de compactación de campo al momento de colocar los materiales de los bancos.
- Se deberá aplicar las medidas de compensación, mitigación y protección ambiental propuestas en el presente estudio. De tal manera que las mismas sean parte integral de los compromisos que el contratista deberá tener durante la ejecución del proyecto.
- Construir vigas transversales como mínimo a cada 20 m en zonas con pendiente y en zonas planas estas no son necesarias.
- Construir bordillos o vigas longitudinales en toda la longitud del tramo.
- Los espesores obtenidos son recomendables ya que cumplen con las Normas AASHTO.

## **Bibliografía**

- Anuario de Aforos de tráfico 2012. MTI.
- Design Procedure for New Pavements, Tercera Edición. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO-93). Tercera Edición.
- Especificaciones generales para la construcción de caminos, calles y puentes, NIC – 2000.
- Ingeniería de Pavimentos para Carretera. 2da edición, año 2001. Alfonso Montejo Fonseca.
- Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos. (Sistema de Integración Económica Centroamericana-SIECA). Ing. Jorge Coronado Iturbide.
- Manual de Diseño de Pavimentos AASHTO 93
- MTI, Especificaciones generales para la construcción de caminos, calles y puentes. NIC 2000. Año 1999.
- Proyecciones de la población municipal, INIDE 2008.

## **Otros**

- Manual de impacto ambiental. Msc. Arq. Benjamín Rosales Rivera. Universidad Nacional de Ingeniería. Managua Nicaragua. Abril 2007
- Programa Computarizado
- Rehabilitación y Mantenimiento de Calles y Caminos. Manuales Elementales de Servicios Municipales. García, L y Aburto, A. 2003. Managua, Nicaragua. 205 p.
- PAVEMENT DESINGS & ANALISIS: Created by Thomas P. Harman, M.S. C.E In Conjunction with Randell C. Riley. P.E & William Feltz. F.E. American Concrete Pavement Association. The Ohio Ready Mixed Concrete Association. <Versión 3.3><Copyright 1988>

# **ANEXOS CAPÍTULO I**

## Anexo 1. Fotografía tramo de carretera Las Sabanas – El Cipián



**Anexo 2. Fotografía 2. Estado del tramo de carretera Las Sabanas – El Cipián**



# **ANEXOS CAPÍTULO II**



## Anexo 1. Clasificación de suelos, según AASHTO

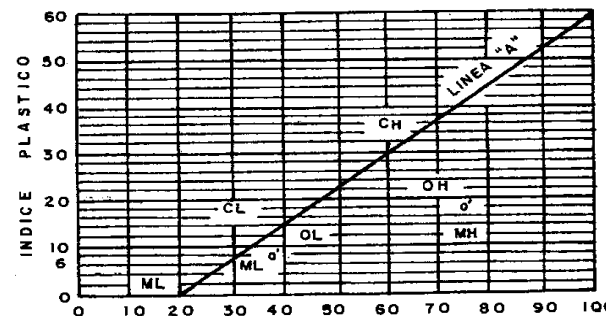
Clasificación de suelos por el método AASHTO											
Clasificación general	Materiales granulares (35%, ó menos, pasa el tamiz No. 200)							Materiales limo-arcillosos (Más del 35% pasa el tamiz No. 200)			
Grupos	A - 1	A-1-b	A - 2					A-4	A-5	A-6	A-7
Subgrupos	A-1-a		A - 3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
Porcentaje que pasa el tamiz:											
No. 10 (2.00 mm)	50 máx.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
No. 40 (0.425 mm)	30 máx.	50 máx.	51 mín.	—	—	—	—	—	—	—	
No. 200 (0.075 mm)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	
Características del material que pasa el tamiz No. 40 (0.425 mm):											
Límite líquido	—	—	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.	NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	11 mín.
Terreno de fundación	Excelente a bueno	Excelente a bueno	Excelente a bueno					Regular a malo			

\* El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5, es igual ó menor a LI-30.

El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6, es mayor que LI-30.

Fuente: Ing. de Pavimentos para Carreteras, 2 da Edición, Alfonso Montejo, pág 46.

## Anexo 2. Clasificación unificada de suelos, según SUCS

CRITERIO DE CLASIFICACIÓN EN EL LABORATORIO					
			SÍMBO- LOS DEL GRUPO		
SUELOS DE PARTÍCULAS GRUESAS MÁS DE LA MITAD DEL MATERIAL ES RETENIDO EN LA MALLA Nº200(φ) (USESE LA CURVA GRANULOMÉTRICA PARA IDENTIFICAR LAS FRACCIONES DE SUELO)	ARENAS MÁS DE LA MITAD DE LA FRACCIÓN GRUESA PASA LA MALLA Nº4 (Usese la curva granulométrica para identificar las fracciones de suelo)	GRAVAS LIMPIAS (POCO O NADA DE PARTÍCULAS FINAS)	GW	DETERMINENSE LOS PORCENTAJES DE GRAVA Y ARENA DE LA CURVA GRA - MULOMÉTRICA DEPENDIENDO DEL PORCENTAJE DE FINOS (FRACCIÓN QUE PASA LA MALLA Nº200) LOS SUELOS GRUESOS SE CLASIFICAN COMO SIGUIEN MENOS DE 5% : GW, GP, SW, SP MÁS DE 12% : GM, GC, SM, SC	
		GRAVAS CON FINOS (CANT. APRECIABLE DE PART. FINAS)	GP		
		GRAVAS CON FINOS (CANT. APRECIABLE DE PART. FINAS)	GM		
		GRAVAS CON FINOS (CANT. APRECIABLE DE PART. FINAS)	GC		
		ARENAS LIMPIAS (POCO O NADA DE PARTÍCULAS FINAS)	SW		
		ARENAS CON FINOS (CANT. APRECIABLE DE PART. FINAS)	SP		
	ARENAS MÁS DE LA MITAD DE LA FRACCIÓN GRUESA PASA LA MALLA Nº4 (Usese la curva granulométrica para identificar las fracciones de suelo)	ARENAS LIMPIAS (POCO O NADA DE PARTÍCULAS FINAS)	SM	COEF DE UNIFORMIDAD (C <sub>u</sub> ) COEF DE CURVATURA (C <sub>c</sub> ) C <sub>u</sub> = $\frac{D_{60}}{D_{10}}$ , MAYOR DE 4 C <sub>c</sub> = $\frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ , ENTRE 1 y 3  NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACIÓN PARA GW  LÍMITES DE PLASTICIDAD ABAJO DE LA LÍNEA "A" O I <sub>p</sub> MENOR QUE 6  LÍMITES DE PLASTICIDAD ARRIBA DE LA LÍNEA "A" CON I <sub>p</sub> MAYOR QUE 6  C <sub>u</sub> = $\frac{D_{60}}{D_{10}}$ , MAYOR DE 6 C <sub>c</sub> = $\frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ , ENTRE 1 y 3  NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACIÓN PARA SW  LÍMITES DE PLASTICIDAD ABAJO DE LA LÍNEA "A" O I <sub>p</sub> MENOR QUE 6  LÍMITES DE PLASTICIDAD ARRIBA DE LA LÍNEA "A" CON I <sub>p</sub> MAYOR QUE 6	
		ARENAS CON FINOS (CANT. APRECIABLE DE PART. FINAS)	SC		
		LIMOS Y ARCILLAS LÍMITE LÍQUIDO MENOR DE 50	ML		EQUIVALENCIA DE SÍMBOLOS G. GRAVA M. LIMO O. SUELOS ORGÁNICOS W. BIEN GRADUADOS L. BAJA COMPRESIBILIDAD S. ARENA C. ARCILLA P <sub>t</sub> TURBA P. MAL GRADUADA H. ALTA COMPRESIBILIDAD  COMPARANDO SUELOS A IGUAL LÍMITE LÍQUIDO, LA TENACIDAD Y LA RESISTENCIA EN ESTADO SECO AUMENTAN CON EL ÍNDICE PLÁSTICO    CLASIFICACIÓN DE SUELOS DE PARTÍCULAS FINAS EN EL LABORATORIO
		LIMOS Y ARCILLAS LÍMITE LÍQUIDO MENOR DE 50	CL		
		LIMOS Y ARCILLAS LÍMITE LÍQUIDO MAYOR DE 50	OL		
		LIMOS Y ARCILLAS LÍMITE LÍQUIDO MAYOR DE 50	MH		
SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS		LIMOS Y ARCILLAS LÍMITE LÍQUIDO MAYOR DE 50	CH		
		LIMOS Y ARCILLAS LÍMITE LÍQUIDO MAYOR DE 50	OH		
		LIMOS Y ARCILLAS LÍMITE LÍQUIDO MAYOR DE 50	P <sub>t</sub>		

Fuente: Ing. de Pavimentos para Carreteras, 2 da Edición, Alfonso Montejo, pág 53.

















### Anexo 3. Correlación entre el tipo de material, CBR y K

Clasificación ASSHTO	Descripción	Clasif. S. U.	Densidad Seca (kg/m3 )	CBR (%)	Valor K (psi/in)
Suelos granulares:					
A-1-a, bien graduada	Grava	GW, GP	125 - 140	60 - 80	300 – 450
A-1-a, mal graduada			120 - 130	35 - 60	300 – 400
A-1-b	Arena Gruesa	SW	110 – 130	20 - 40	200 – 400
A-3	Arena Fina	SP	105 – 120	15 -25	150 – 300
A-2 Material granular con alto contenido de finos					
A-2-4 gravoso	Grava Limosa	GM	130 - 145	40-80	300 – 500
A-2-5, gravoso	Grava Arenosa Limosa				
A-2-4, arenoso	Arena Limosa	SM	120 - 135	20 – 40	300 – 400
A-2-5, arenoso	Arena Gravo Limosa				
A-2-6, gravoso	Grava Arcillosa	GC	120 - 140	20 – 40	200 – 450
A-2-7, gravoso	Grava Arenosa Arcillosa				
A-2-6, arenoso	Arcilla Arenosa	SC	105 - 130	10 – 20	150 – 350
A-2-7, arenoso	Arcilla Grava Arenosa				
Suelos finos:					
A-4	Limo	ML, OL	90 - 105	4 - 8	25 – 165*
	Mezclas de Limo/Arena/ Grava		100 - 125	5 - 15	40 – 220 *
A – 5	Limo mal graduado	MH	80 - 100	4 - 8	25 – 190*
A - 6	Arcilla plástica	CL	100 - 125	5 - 15	25 – 255*
A-7-5	Arcilla Elástica moderadamente plástica	CL, OL	90 - 125	4 - 15	25 – 125 *
A-7-6	Arcilla muy plástica	CH, OH	80 - 110	3 – 5	40 – 220*

Fuente: Diseño de pavimentos, AASHTO 93, Cap. 4, Página 86.

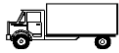



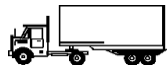


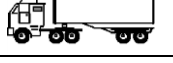




# **ANEXOS CAPÍTULO III**

## Anexo 1. Tipología y Descripción Vehicular de Conteos de Tráfico del Sistema de Administración de Pavimentos

CLASIF. VEHICULAR	TIPOS DE VEHICULOS	ESQUEMA VEHICULAR	DESCRIPCIÓN DE LA TIPOLOGÍA VEHICULAR
VEHICULOS DE PASAJEROS	MOTOCICLETAS		Incluye todos los tipos de Motocicleta tales como, Minimoto, Cuadraciclo, Moto Taxi, Etc. Este último fue modificado para que pudiera ser adaptado para el traslado de personas, se encuentran más en zonas Departamentales y Zonas Urbanas. Moviliza a 3 personas incluyendo al conductor.
	AUTOMOVILES		Se consideran todos los tipos de automóviles de cuatro y dos puertas, entre los que podemos mencionar, vehículos coupe y station wagon.
	JEEP		Se consideran todos los tipos de vehículos conocidos como 4x4. En diferentes tipos de marcas, tales como TOYOTA, LAND ROVER, JEEP, ETC.
	CAMIONETA		Son todos aquellos tipos de vehículos con ltnas en la parte trasera, incluyendo las que transportan pasajeros y aquellas que por su diseño están diseñadas a trabajos de carga.
	MICROBUS		Se consideran todos aquellos microbuses, que su capacidad es menor o igual a 14 pasajeros sentados.
	MINIBUS		Son todos aquellos con una capacidad de 15 a 30 pasajeros sentados.
	BUS		Se consideran todos los tipos de buses, para el transporte de pasajeros con una capacidad mayor de 30 personas sentadas.
VEHICULOS DE CARGA	LIVIANO DE CARGA		Se consideran todos aquellos vehículos, cuyo peso máximo es de 4 toneladas o menores a ellas.
	CAMIÓN DE CARGA C2 - C3		Son todos aquellos camiones tipos C2 (2 Ejes) y C3 (3 Ejes), con un peso mayor de 5 toneladas. También se incluyen las furgonetas de carga liviana.
	CAMIÓN DE CARGA PESADA T <sub>1</sub> S <sub>1</sub> X <sub>1</sub> = 4		Camiones de Carga Pesada, son vehículos diseñados para el transporte de mercancía liviana y pesada y son del tipo T <sub>1</sub> S <sub>1</sub> X <sub>1</sub> = 4.
	T <sub>1</sub> S <sub>1</sub> X <sub>1</sub> = 5		Este tipo de camiones son considerados combinaciones Tractor Camión y semi Remolque, que sea igual o mayor que 5 ejes.
	C <sub>1</sub> R <sub>1</sub> X <sub>1</sub> = 4		Camión Combinado, son combinaciones camión remolque que sea menor o igual a 4 ejes y están clasificados como C <sub>1</sub> R <sub>1</sub> X <sub>1</sub> = 4
	C <sub>1</sub> R <sub>1</sub> X <sub>1</sub> = 5		Son combinaciones iguales que las anteriores pero iguales o mayores cantidades a 5 ejes.
EQUIPO PESADO	VEHICULOS AGRÍCOLAS		Son vehículos provistos con llantas especiales de hule, de gran tamaño. Muchos de estos vehículos poseen arados u otros tipos de equipos, con los cuales realizar las actividades agrícolas. Existen de diferentes tipos (Tractores - Arados - Cosechadoras)
	VEHICULOS DE CONSTRUCCIÓN		Generalmente estos tipos de vehículos se utilizan en la construcción de obras civiles. Pueden ser de diferentes tipos, Motoniveladoras, retroexcavadoras, Recuperador de Caminos/Mezclador, Pavimentadora de Asfalto, Tractor de Cadenas, Cargador de Ruedas y Compactadoras.
OTROS	REMOLQUES Y/O TRAILERS		Se incluye remolques o trailers pequeños halados por cualquier clase de vehículo automotor, también se incluyen los halados por tracción animal (Diermoventes).

Fuente: Anuario de aforos de tráfico 2011. Pag, 28.

## Anexo 2. Diagrama de cargas permisibles aplicadas en los puntos de control

PESOS MAXIMOS PERMISIBLES POR TIPO DE VEHICULOS								
TIPO DE VEHICULOS	ESQUEMAS DE VEHICULOS	PESO MAXIMO AUTORIZADO						Peso Máximo Total (t) Ton - Met.
		1er. Eje	2do. Eje	3er. Eje	4to. Eje	5to. Eje	6to. Eje	
C2		5.00	10.00					15.00
C3		5.00	16.50					21.50
			8.25	8.25				
C4		5.00	20.00					25.00
			6.67	6.66	6.66			
T2-S1		5.00	9.00	9.00				23.00
T2-S2		5.00	9.00	16.00				30.00
				8.00	8.00			
T2-S3		5.00	9.00	20.00				34.00
				6.67	6.66	6.66		
T3-S1		5.00	16.00		9.00			30.00
			8.00	8.00				
T3-S2		5.00	16.00		16.00			37.00
			8.00	8.00	8.00	8.00		
T3-S3		5.00	16.00		20.00			41.00
			8.00	8.00	6.67	6.66	6.66	
C2-R2		4.50	9.00	4.0 a	4.0 a			21.50
		4.50	9.00	6.5 b	6.5 b			26.50
C3-R2		5.00	16.00		4.0 a	4.0 a		29.00
		5.00	8.00	8.00	6.5 b	6.5 b		34.00
C3-R3		5.00	16.00		4.0 a	5.0 a	5.0 a	35.00
		5.00	8.0 b	8.0 b	6.5 b	5.0 b	5.0 b	37.50

**NOTA:** El peso máximo permisible será el menor entre el especificado por el fabricante y el contenido en esta columna.  
**a :** Eje sencillo llanta sencilla.  
**b :** Eje sencillo llanta doble.

Fuente: Anuario de aforos de tráfico. MTI, DGP-DAV.

## Anexo 3. Diagrama de cargas permisibles

Tipo de Vehículo	Peso por eje en TON	Peso por eje en Lbs
AUTOMOVIL	1/1	2200/2200
JEEP	1/1	2200/2200
CAMIONETA	1/2	2200/4400
MC-15	2/4	4400/8800
MC-12-30	4/8	8800/17600
C2-LIV	4/8	8800/17600
BUS = C2	5/10	11000/22000

Fuente: Ministerio de Transporte e Infraestructura MTI

# **ANEXO CAPÍTULO IV**

### Anexo 1. Imagen desde el ascenso hacia Las Sabanas



Vista panorámica desde el ascenso hacia las Sabanas. Puede observarse la posición comprometida de un poste sobre el talud. Las estructuras de drenaje pueden verse complementadas con una buena cobertura de vegetación que crece a los lados del camino para contrarrestar procesos erosivos.



# **ANEXOS CAPÍTULO V**

**Anexo 1. Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes simples,  $p_t = 2$ , SN= 5**

Carga p/eje (kips) <sup>6</sup>	Número estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
4	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002
6	0.009	0.012	0.011	0.010	0.009	0.009
8	0.03	0.035	0.036	0.033	0.031	0.029
10	0.075	0.085	0.090	0.085	0.079	0.076
12	0.165	0.177	0.189	0.183	0.174	0.168
14	0.325	0.338	0.354	0.350	0.338	0.331
16	0.589	0.598	0.613	0.612	0.603	0.596
18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.61	1.59	1.56	1.55	1.57	1.59
22	2.49	2.44	2.35	2.31	2.35	2.41
24	3.71	3.62	3.43	3.33	3.40	3.51
26	5.36	5.21	4.88	4.68	4.77	4.96
28	7.54	7.31	6.78	6.42	6.52	6.83
30	10.4	10.0	9.2	8.6	8.7	9.2
32	14.0	13.5	12.4	11.5	11.5	12.1
34	18.5	17.9	16.3	15.0	14.9	15.6
36	24.2	23.3	21.2	19.3	19.0	19.9
38	31.1	29.9	27.1	24.6	24.0	25.1
40	39.6	38.0	34.3	30.9	30.0	31.2
42	49.7	47.7	43.0	38.6	37.2	38.5
44	61.8	59.3	53.4	47.6	45.7	47.1
46	76.1	73.0	65.6	58.3	55.7	57.0
48	92.9	89.1	80.0	70.9	67.3	68.6
50	113.	108.	97.	86.	81.	82.

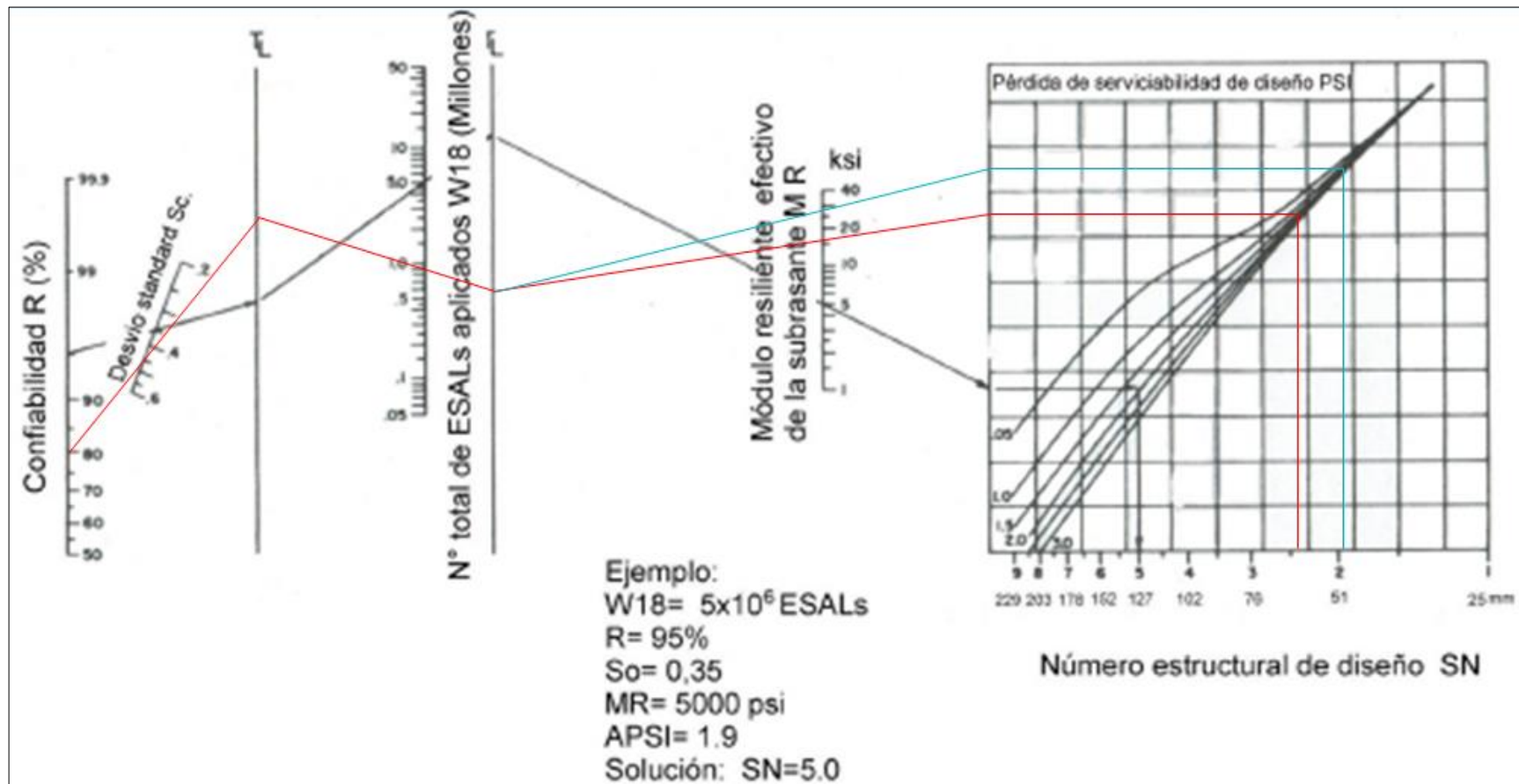
Fuente: Manual Centroamericano para diseño de pavimentos SIECA. Capítulo3. Pag 6.

**Anexo 2. Factores Equivalentes de Carga para Pavimentos Flexibles, Ejes Tándem,  $p_t = 2$ , SN= 5**

Carga p/eje (kips)	Número estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	0.0003	0.0003	0.0003	0.0002	0.0002	0.0002
6	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
8	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002
10	0.007	0.008	0.008	0.007	0.006	0.006
12	0.013	0.016	0.016	0.014	0.013	0.012
14	0.024	0.029	0.029	0.026	0.024	0.023
16	0.041	0.048	0.050	0.046	0.042	0.040
18	0.066	0.077	0.081	0.075	0.069	0.066
20	0.103	0.117	0.124	0.117	0.109	0.105
22	0.156	0.171	0.183	0.174	0.164	0.158
24	0.227	0.244	0.260	0.252	0.239	0.231
26	0.322	0.340	0.360	0.353	0.338	0.329
28	0.447	0.465	0.487	0.481	0.466	0.455
30	0.607	0.623	0.646	0.643	0.627	0.617
32	0.810	0.823	0.843	0.842	0.829	0.819
34	1.06	1.07	1.08	1.08	1.08	1.07
36	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
38	1.76	1.75	1.73	1.72	1.73	1.74
40	2.22	2.19	2.15	2.13	2.16	2.18
42	2.77	2.73	2.64	2.62	2.66	2.70
44	3.42	3.36	3.23	3.18	3.24	3.31
46	4.20	4.11	3.92	3.83	3.91	4.02
48	5.10	4.98	4.72	4.58	4.68	4.83
50	6.15	5.99	5.64	5.44	5.56	5.77
52	7.37	7.16	6.71	6.43	6.56	6.83
54	8.77	8.51	7.93	7.55	7.69	8.03
56	10.4	10.1	9.3	8.8	9.0	9.4
58	12.2	11.8	10.9	10.3	10.4	10.9
60	14.3	13.8	12.7	11.9	12.0	12.6
62	16.6	16.0	14.7	13.7	13.8	14.5
64	19.3	18.6	17.0	15.8	15.8	16.6
66	22.2	21.4	19.6	18.0	18.0	18.9
68	25.5	24.6	22.4	20.6	20.5	21.5
70	29.2	28.1	25.6	23.4	23.2	24.3
72	33.3	32.0	29.1	26.5	26.2	27.4
74	37.8	36.4	33.0	30.0	29.4	30.8
76	42.8	41.2	37.3	33.8	33.1	34.5
78	48.4	46.5	42.0	38.0	37.0	38.6
80	54.4	52.3	47.2	42.5	41.3	43.0
82	61.1	58.7	52.9	47.6	46.0	47.8
84	68.4	65.7	59.2	53.0	51.2	53.0
86	76.3	73.3	66.0	59.0	56.8	58.6
88	85.0	81.6	73.4	65.5	62.8	64.7
90	94.4	90.6	81.5	72.6	69.4	71.3

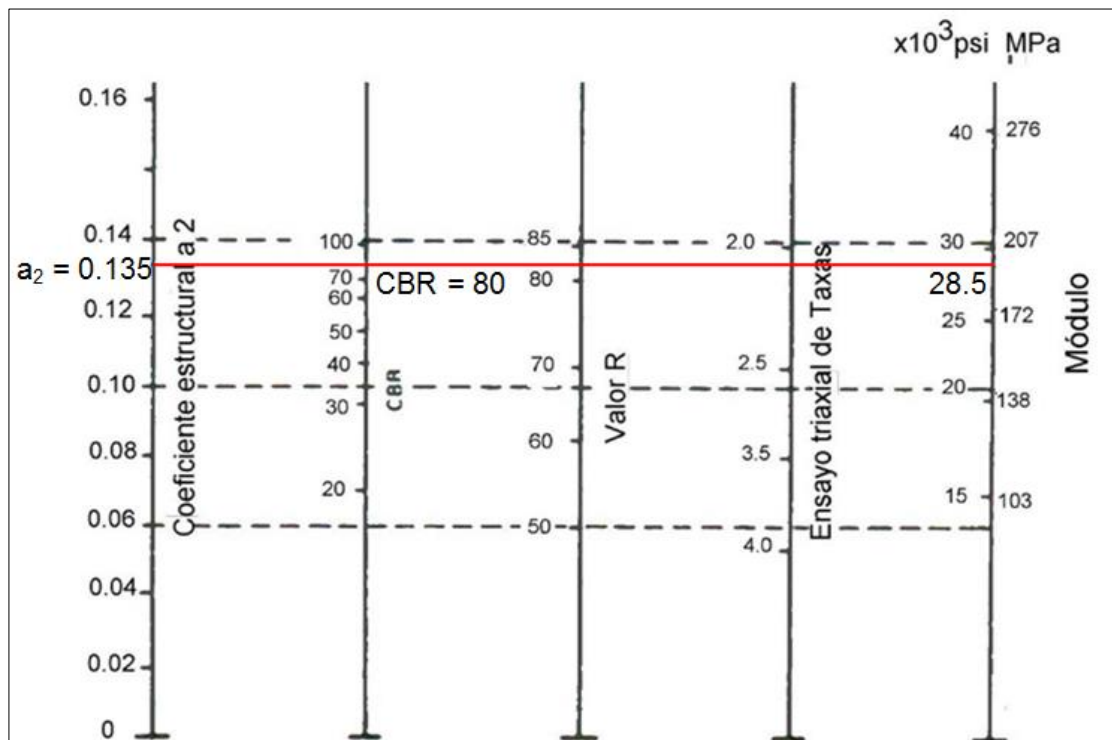
Fuente: Manual Centroamericano para diseño de pavimentos SIECA. Capítulo3. Pag 7.

### Anexo 3. Número Estructural SN para Sub-rasante y Base. Ábaco de diseño AASHTO para pavimentos flexibles



Fuente: Diseño de pavimento (AASHTO-93), pág. 174.

**Anexo 4. Nomograma Relación entre el Coeficiente Estructural para Base Granular y distintos Parámetros Resistentes.**



Fuente: Guía de Diseño para Pavimentos. AASHTO 93, Cap. 3, pág. 35.